



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Colombia

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Carrera de Ecología

Título:

Trabajo de Grado para obtener el título de Ecólogo

Autor

Patrick Nicolás Skillings Neira

Director de tesis

Juan Carlos Benavides Duque, PhD

Bogotá D.C.

Mayo, 2019

Agradecimientos

Debo reconocer que este trabajo es fruto del apoyo de cientos de personas que he tenido la fortuna de conocer con el paso de mi proceso educativo. Agradecimientos especiales a los dos seres que han estado acompañándome toda mi vida, y es a ellos a quienes les dedico todos mis mayores logros. Papá y mamá los adoro y los admiro, de verdad, mil gracias. También quisiera mencionar a mi segunda madre, Elsa Álvarez, que estuvo presente para brindar tranquilidad y mucho amor.

Agradezco la paciencia y la dedicación de todos los maestros que han trabajado toda su vida a tan valioso oficio. Agradecimientos especiales a el profesor Juan Carlos Benavidez. Quiero reconocer su gran esfuerzo y dedicación para con los estudiantes, queriendo aportarles experiencias valiosas e inolvidables. Gracias Juan por depositar toda esa confianza en mí, pues me dio fortaleza cumplir con muchas metas.

Agradezco el excelente trabajo y tiempo de Santiago González, Sebastián Montero y Andrés Becerra que me acompañaron a las salidas de campo. A mis compañeros y colegas que escucharon y aportaron por medio de consejos y observaciones a este trabajo. Marcelo Villa, Violeta Martínez, Juan Silva, Santiago Sarmiento, y muchos más, gracias.

Reconozco la labor tan importante de los funcionarios del Parque Nacional Natural Chingaza. Agradecimientos especiales a David Hernández, pues estuvo a la cabeza de toda la logística del proyecto, me acompañó a todas las salidas de campo y aportó valiosas sugerencias que fueron de gran ayuda para este trabajo. Gracias a Fredy Avellaneda, Mariana Gómez, Carlos Acosta, Luis Beltrán y Ramiro Pulido, y a todos los funcionarios del Parque Nacional Natural Chingaza, por su acompañamiento y apoyo.

A Nancy y Eduardo quienes abrieron las puertas de su casa para tratarnos como si fuéramos de su familia, y por enseñarnos tanto muchas gracias. A Rodrigo, quien nos ayudo a cargar el material de campo hasta donde acampamos, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS	4
Article	5
1. <i>Introduction</i>	5
2. <i>Materials and Methods</i>	6
3. <i>Results</i>	12
4. <i>Discussion</i>	17
5. <i>Conclusions</i>	18
<i>References</i>	19
ANEXOS	22
Drones Journal Instructions for Authors	22
Marco Referencial	31
Marco Teórico	31
Antecedentes	38
Referencias bibliográficas del Marco referencial	41
3Anexos de documentos relevantes para la investigación	45
Características de las misiones de vuelo del RPA e informes de procesamientos de fotografías tomadas con el RPA	45
Tabla de correlación de variables ambientales	57
Archivo de salida de Maxent para el modelo de distribución de <i>C. quindiuense</i>	58
Aval de investigación otorgado por la Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas	

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS

Using Drones to Assess the Conservation Status of Colombian's National Tree -*Ceroxylon quindiuense* (H. Karst) H. Wendl.- in the Piedemonte Province of Colombia

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿En qué estado de conservación se encuentran las poblaciones de *Ceroxylon quindiuense*, localizadas en la provincia de Piedemonte (Meta, Colombia)?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el estado de conservación de *Ceroxylon quindiuense* en la provincia de Piedemonte en el departamento de Meta aplicando las directrices para el uso de los criterios de la lista roja de la UICN a nivel regional.

Objetivos específicos

1. Definir la densidad, el patrón de distribución espacial y la estructura demográfica de la población de *Ceroxylon. Quindiuense* localizada en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Chingaza, en el municipio de San Juanito, Meta.
2. Clasificar en tipos de cobertura las áreas mapeadas para estimar áreas transformadas donde se encuentra la población de *Ceroxylon quindiuense*.
3. Modelar la distribución de *Ceroxylon. quindiuense*, en la provincia de Piedemonte (Meta), y proyectar en un mapa, las áreas idóneas para la especie, según las variables ambientales seleccionadas.

Using Drones to Assess the Demographic Structure of Colombia's National Tree -*Ceroxylon quindiuense* (H. Karst) H. Wendl.- in the Piedemonte Province of Colombia

Patrick Skillings^{1,*}

¹ Pontificia Universidad Javeriana

* Correspondence: pskillings@javeriana.edu.co; Tel: +57 3203444264

Abstract: Populations of Quindío wax palm in the Colombian Andes have been declining over the years due to habitat fragmentation and loss to agriculture expansion. Recent exploratory expeditions in buffer areas of the Chingaza National Natural Park reported a significant population of *C. quindiuense*. The main goal of this study is to assess the conservation status of this population. The purpose of this research was accomplished using a Remote Piloted Aircraft to obtain aerial photographs which were used to find species densities, spatial pattern distribution, quantify habitat deterioration and build a distribution model for the species in the region. Results were then evaluated following the IUCN guidelines for application of red list criteria at a Regional level. *Ceroxylon quindiuense* was found to be in the Endangered Category.

Keywords: *Ceroxylon quindiuense*, conservation status; demographic structure; species distribution model; RPA

1. Introduction

The Quindío wax palm (*Ceroxylon quindiuense*), the tallest palm in the world, is a charismatic species considered the national tree of Colombia [1]. Populations of *C. quindiuense* in the Colombian Andes have been declining over the years due to habitat fragmentation and loss to agriculture expansion [2,3]. The Quindío wax palm has been cut for different uses like construction of fences, religious celebrations and wax extraction for candles, matches and torches [4-7]. *Ceroxylon quindiuense* is considered an endangered species (EN) according to the red list of palms for Colombia [3]. Populations of *C. quindiuense* have been reduced by 50% in the last 210 years [3]. A large part of the populations are found in deforested areas currently used for pastures [5-9]. Adult palms can survive under direct sun exposure and grazing but seedling development is nonexistent on these environments [6,7]. It is estimated that the Quindío wax palm can take up to 57 years to start producing a stem and 83 years to have its first reproductive event [5,6]. Therefore, the palm is being affected by the transformation of its habitats, its slow life cycle, and introduce problems for the regeneration of natural populations. The Quindío wax palm is found across the Colombian Andes. Particularly, most of the populations of the Central Cordillera have been intensively studied [3-5,7-14]. Recently, exploratory expeditions in Tropical Andean Forests on the Eastern Cordillera, and in buffer areas of the Chingaza National Natural Park (PNNC) reported significant populations of *C.*

quindiense [15]. The discovery of the population was unexpected since it was considered that *C. quindiense* palms are scarce and scattered in the Eastern Cordillera [7].

The Tropical Andean Forests are part of the tropical Andes region, which tops the list of priority areas for conservation worldwide, since it contains the largest number of endemic species and presents great threats due to fragmentation and loss of habitat [16]. Deterioration of Tropical Andean Forests ecosystems is one of the main reason for the loss of biodiversity in Colombia, given that 59% of the area of the eco-region of the tropical Andes in the country are been intervened [17], and the Tropical Andean Forests located on the buffer area of PNNC where the population of *C. quindiense* is present, is not the exception. Records obtained from officials of the PNNC over the last two years show the biodiversity that hosts these ecosystems, and the importance it has for the preservation of species [15,18-19]. The conservation of the populations of *C. quindiense* are instrumental for the survival of multiple species in the tropical montane forests, reason why it is considered an umbrella species [7,13,18,20]. For Example, the yellow-eared parrot (*Ognorhynchus icterotis*), an endangered bird species, depends on dead palm stems of the Quindío wax palm, which they use for nesting [8,18]. Other reports of animals that visit the palm, and either feed from palm fruits or take shelter, include: birds species like the brown-breasted parakeet (*Pyrrhura calliptera*), the Black-billed Mountain Toucan (*Andigena nigrirostris*), jays (*Cyanocarax sp.*), thrushes (*Turdus sp.*) guans (*Cracidae*), and mammal species like the spectacled bears (*Tremarctus ornatus*) the paramo tapir (Tapirus pinchaque) agoutis (*Dasyprocta fulginosa*) peccaries (*tayassu sp.*) coatis (*Nasua nasua and Nasuella olivacea*Jays) and the tayra (*Eira Barbara*) [7,11,13,18].

The main goal of this study is to assess the conservation status of *C. quindiense* in the Piedemonte province on the department of Meta. To accomplish this goal, the following specific points were addressed: (1) define the density, spatial distribution pattern and demographic structure of the population of *Ceroxylon quindiense* located in the buffer zone of the Chingaza National Natural Park, in the municipality of San Juanito, Meta; (2)Classify mapped areas in land-cover types to estimate transformed areas where the population of *Ceroxylon quindiense* is located; and, (3)Model the distribution of *Ceroxylon quindiense*, in the province of Piedemonte (Meta), and project on a map, the ideal areas for the species, according to the selected environmental variables. Part of this research was accomplished using a remote piloted aircraft (RPA) to obtain aerial photographs which were stitched together to produce an updated georeferenced map giving an example of new and more efficient ways to obtain accurate data for studying the population ecology of canopy-emergent palms.

2. Materials and Methods

2.1. Study site

The study was carried out in approximately 1600 ha of Andean forest fragments at two locations (Toledo and El Tablón) in the municipality of San Juanito, situated northwest of the department of Meta, on the eastern slope of the Eastern Cordillera of Colombia (Toledo~1200 ha : 4°30'22"N 73°38'23"W, and El Tablón ~ 380 ha: 4°28'08"N 73°38'27"W). The study area has an elevation between 2050 and 2800 m.a.s.l. with a mean annual temp of 18°C [21]. Although the municipality of San Juanito is not very large, its north, east and west sides are surrounded by the PNNC. In order to maintain their economic stability, the inhabitants of the municipality of San Juanito have intervened the forests of the buffer zone of the PNNC, which has generated a fragmented landscape. Quindío Wax Palm populations are in buffer areas of the Chingaza National Natural Park (PNNC), in three main land cover types: (1) mature forest. (2) Second-growth forest and (3) pastures. From this site, enough data

was obtained to be able to project the potential distribution of the species, on a larger extent. The distribution model was then made for the province of Piedemonte (Meta). This province is divided into three areas, represented by 2 physiographic regions. The first and smallest region (~ 20% of the total area of the province) is the mountainous area on the eastern flank of the EC of Colombia [22]. The second corresponds to the transition area of the mountain and the plain [22].

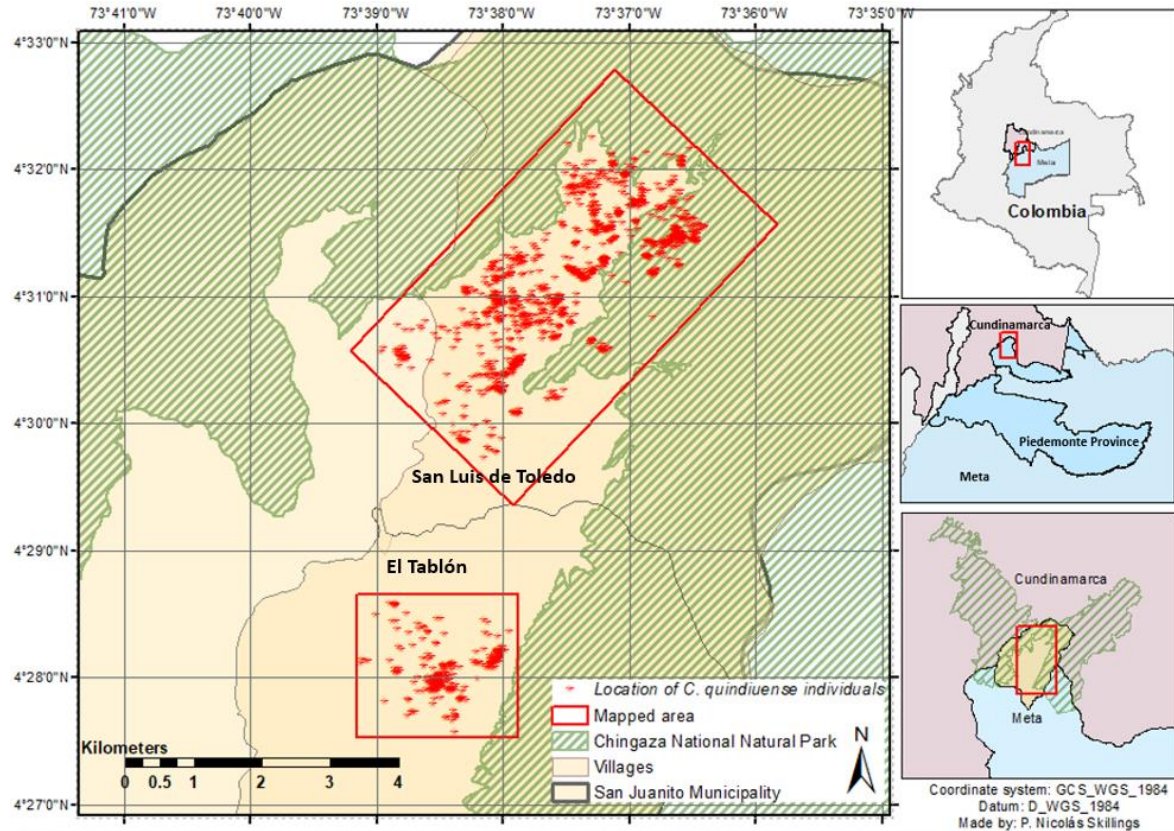


Figure 1. Location of the study area and individuals of palms of *C. quindiuense* in the Municipality of San Juanito, Meta.

2.2. RPA description, flight plan characteristics and data collected by RPA

A DJI Phantom 4 Advanced quadcopter was used to carry out all the planned flights. A total of 2987 photographs were taken from 7 flight plans, using a FC6310 camera with a resolution of 4864 x 3648 pixels and a 2.61 microns pixel size. Flight missions were made using the DroneDeploy® movil APP [23] by creating polygons of the study area, based on coordinates of palm location obtained from the Chingasa's National Park officials [15]. A Google Earth Pro® satellite map was used to identify high ground areas for safe drone operation. The percentages of lateral and frontal overlap between the photographs were 70% and 85% respectively.

Agisoft Photoscan® software (AgiSoft PhotoScan Professional, 2018) was used to process the digital images obtained [24]. As a result, the software turns these images into a single stitched map known as an orthomosaic (Figure 2). Once the orthomosaic is created, it is used to obtain information about the palm densities and its spatial distribution patterns, as well as, landcover classification to

understand how the Andean forest in the study area has been intervened. For more detailed information on image processing and flight missions, see Annex 3.1.

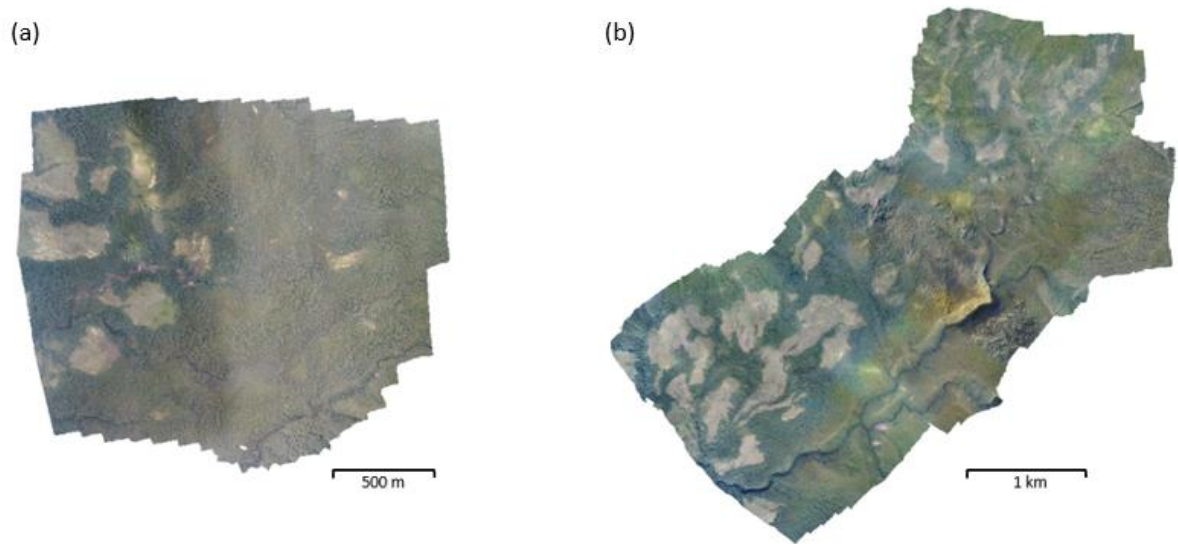


Figure 2. Orthomosaics made in the villages of El Tablón (a) and San Luis de Toledo (b). For orthomosaic (a) the Ground Sampling Distance (GSD) obtained was of 8.96cm /pix with a composed error of approximately 6m. For orthomosaic (b) a GSD of 10.5cm / pix was obtained with a composed error of approximately 10m. A total of 1594 ha were mapped.

A polygonal, transparent vector layer divided into 2505 quadrant (70 x 96 m) was created on top of the orthomosaics, using the Fishnet tool in ArcGIS Desktop® [25] to locate and count canopy-emergent *C. quindiuense* palms. Next, a point feature layer was created with the purpose of marking each palm observed in each quadrant (Figure 3). XY coordinate and elevation data were obtained from each palm location.

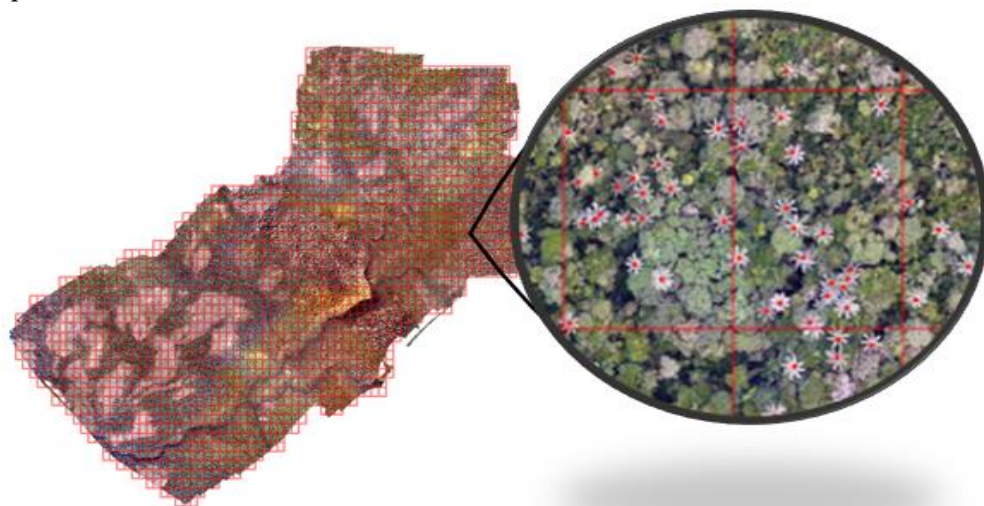


Figure 3. Diagram showing the methodology used to locate and assign to specific cells canopy emergent *C. quindiuense* palms in orthomosaics. Quadrants were used to make a thorough and organized search of *C. quindiuense* palm tree, marked with red points.

A point density map was created using the point density tool of ArcGIS Desktop® [25], with the purpose to locate and visualize the areas in which *C. quindiuense* individuals are more abundant. The point density tool calculates the density of the entity of points around each output raster cell. Therefore, each center of each cell of the output raster obtains a value that is given by the number of points within the area of the neighborhood [26]. The output raster was obtained with a cell size of 15 m, where the evaluated neighborhood was set to an area of 1 ha (Figure 4).

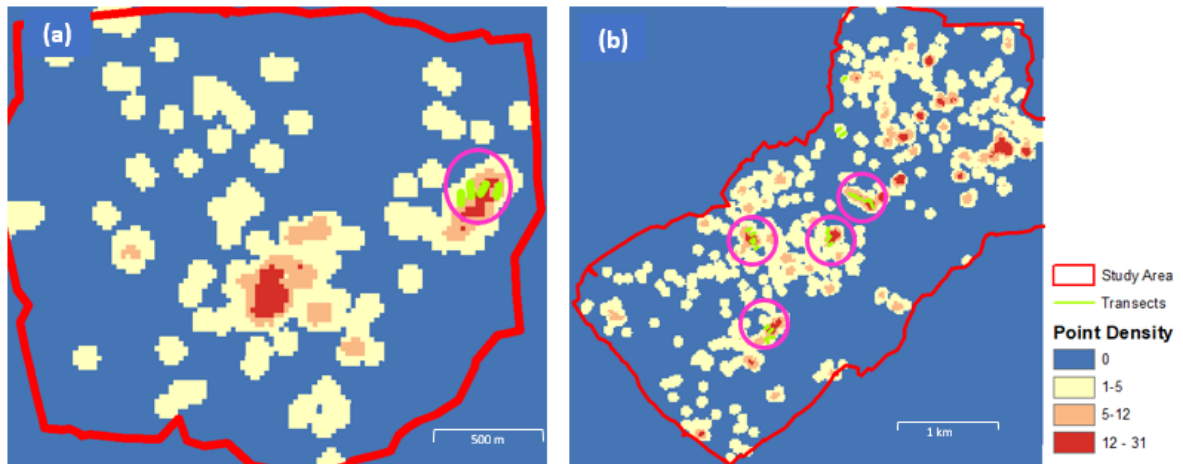


Figure 4. Point density map for: (a) El Tablón and (b) San Luis de Toledo. Fuchsia circles show selected areas where transects were drawn (see use of transects to define the population structure below).

2.3. Land cover type classification

Polygons were created over the orthomosaics to distinguish three main land cover types (Figure 5) using the Editor tool in ArcGIS Desktop® [25]. Characteristic of each landcover type and criteria for classification are as follows: Mature forest was identified by observing the portion of vegetation of trees with bulky crowns; Pasture is composed mainly of pastures given to raise cattle. Small patches of shrubs and/or solitary trees (including *C. quindiuense*) can be observed in the pasture matrix; and, Second-growth forest is considered a forest area which has re-grown after a human disturbance. Forests probably in a secondary succession process, and are composed mainly of small shrubs, and fast-growing trees with smaller crowns. For the classification, topology corrections were conducted to avoid gaps between polygons and overlapping areas. Waterbodies, landslides and other landscape features were chosen to be counted within the landcover that surrounds this feature.

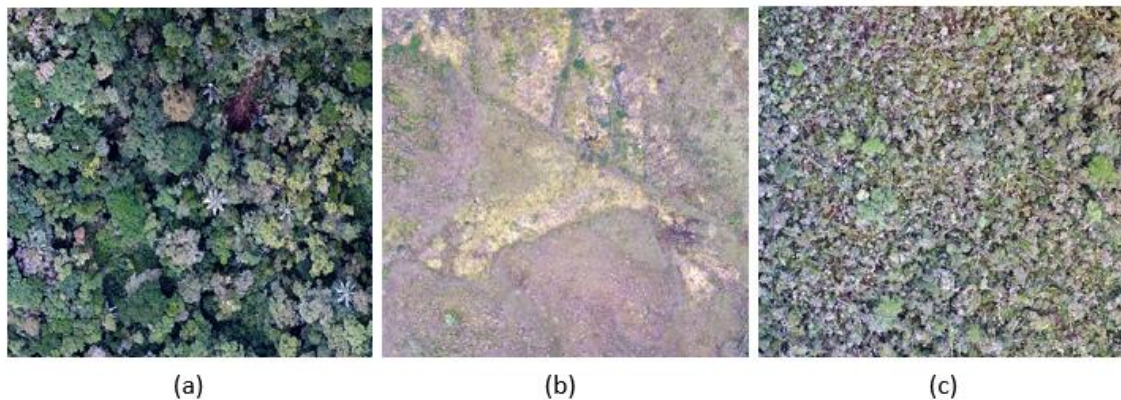


Figure 5. Visual differences between the three land cover classes defined are shown: (a) mature forest, (b) pasture and (c) second-growth forest.

2.4. Multiple distance spatial cluster analysis (Ripley K function).

A Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K function) was conducted, using the tool with the same name in ArcGIS Desktop® [25], to determine whether the spatial pattern of the point shapefile created to show the locations of *C. quindiuense* individuals, exhibits a statistically significant clustering or dispersion. This analysis summarizes the spatial dependence over a range of distances, so it illustrates how the spatial clustering or dispersion of the centroids of the entity changes when the sample size of the neighborhood changes [27,28]. The following values were considered: Start distance: 0m, number of bands: 10, Distance increment: 40m, which means that the maximum size of neighborhood was 400 meters. For calculating the confidence envelope, 99 permutations were selected. Each permutation consists in "randomly placing a set of feature points (the number of points randomly placed is equal to the total number of palms located) in the study area [28,29]. The tool selects, for each distance, the K value that deviated above and below the Expected K value. This will then be the confidence interval translated to a confidence level of 99% of significance for 99 permutations [29].

2.5. Use of transects to define the population structure

The transects were established in 5 zones (only on mature forest areas) where there are dense patches of the palms, since this areas are expected to have individuals of all age classes. These zones were chosen and located with information obtained from the point density map. In this way, for each zone, between 4 and 6 transects were mounted in a density gradient (Figure 4). The minimum distance between the centers of each transect was 50 m. Coordinates were taken on the ends of each transect and on every juvenile and adult palm found on the transects. A total of 22 transects of 5 x 50 m (0.55 ha in total) were visited, where all individuals of Quindío wax palm were counted. Palm individuals were classified according to the corresponding age class following Sanin *et al.* (2013) (Figure 6): Seedling (S) is characterized by its lanceolate leaves. This plant development phase begins with germination and ends with the appearance of the first mature leaves not developed from the cotyledon; Juvenile 1 (J1), is characterized by leaves partially or totally divided into segments. It measures less than 2 m in height; Juvenile 2 (J2), differs from the previous state by its size greater than 2 m; Juvenile 3 (J3), presence of aerial stem development and has no traces of reproductive structures like infructescence or inflorescence; and, Adult (A), it has a stem and shows reproductive traces.

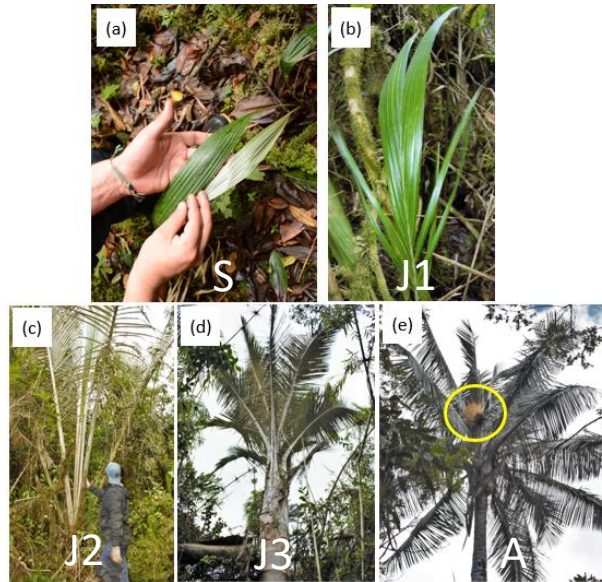


Figure 6. Classification of age classes: (a) Seedling, (b). Juvenile 1, (c). Juvenile 2, (d) Juvenile 3, and (e). Adult. The yellow circle shows the inflorescence of an adult.

2.6. Distribution model of the palm in the province of Pie de Monte, Meta.

Palm point location obtained from the orthomosaics were used to generate the species distribution model. The environmental layers were chosen according to the least correlated variables (less than 0.90), meaning that significant correlated variables were discarded for better results in the model. A total of 21 environmental variables (Table 1) were correlated: 19 obtained from WorldClim data [30] all with a resolution of $\sim 1 \text{ km}^2$ and two topographic variables (elevation and percentage of inclination) with a resolution of 30 m. The correlation matrix was performed using the Band Collection Statistic tool from ArcGIS Desktop® [25]. All environmental variable layers were adjusted to the Piedemonte province area, having the same coordinate system, cell size and extension.

Table 1. List of environmental variables. Variables with (*) were used to perform the distribution model.

Environmental variables (units)
Annual mean temperature (°C)*
Mean diurnal range (°C)*
Isothermality (%)
Temperature seasonality (°C)
Max temperature of warmest month (°C)
Min temperature of coldest month (°C)
Temperature annual range (°C)
Mean temperature of wettest quarter (°C)
Mean temperature of driest quarter (°C)
Mean Temperature of warmest quarter (°C)
Mean Temperature of coldest quarter (°C)
Annual Precipitation (mm)*
Precipitation of wettest month (mm)
Precipitation of driest month (mm)
Precipitation seasonality (%)

Precipitation of wettest quarter(mm)
Precipitation of driest quarter (mm)*
Precipitation of warmest quarter (mm)*
Precipitation of coldest quarter (mm)*
Elevation (m)*
Degrees of inclination (degrees)*

Once the information was obtained, the potential geographical distribution of the species was determined based on a maximum entropy model analysis using the MaxEnt® software, which determines the geographical distribution of the species, based on the environmental conditions of the sites where it was observed [31,32]. The model was generated with a logistic output format. The software interface was instructed to perform 15 replicas of the model, in addition to a 25% retention of the test data in order to evaluate the performance of the model, where all the replicas were averaged and adjusted to the Subsample execution type. To ensure that the model has an adequate convergence time, the number of iterations was increased to 5000, this allows the model not to make sub- or over-estimates of the relationships. The value for the minimum training presence for logistic threshold was used to create the final distribution map for *C. quindiuense*. Other configuration fields of the model's interface were established by default.

To evaluate the model performance a receiver operating characteristic (ROC) curve was obtained from the average of the replicated runs. The accuracy of the model is measured with the area under the curve (AUC) of the ROC. This measurement is threshold independent and evaluates the false positive error rate and the true positive rate observed [32]. AUC low values (less than 0.5) represent randomness in the model, but values closer to 1 mean that the model is highly accurate [32].

2.6. Application of Guidelines for the use of IUCN red list criteria at the regional level.

Results obtained in this study allow us to follow the criteria proposed by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) for the evaluation of extinction risk at a regional level. A region according to IUCN is defined as "any geographical area defined at the sub-global level, such as a continent, country, state or province", thus the risk of extinction analysis was carried out in the province of Pie de Monte, department of Meta [33]. The regional assessments were carried out in a three-step process [33]: First determine which taxa and which regional populations to assess. In this case it will be the populations of *C. quindiuense*, located in the Piedemonte province. Then evaluated the *C. quindiuense* population located in the Piedemonte province according to the IUCN Red List Categories and Criteria, assigning a preliminary category. Finally, the effect of populations of the same taxon in neighboring regions on the regional population is then considered, and the preliminary category is up-or down-listed if appropriate [33]. The final categorization reflects the conservation status for *C. quindiuense* within the Piedemonte province, having considered potential interactions with populations outside that region [33].

3. Results

3.1. *Ceroxylon quindiuense* density, spatial distribution pattern and demographic structure

A total of 1461 *C. quindiuense* individuals (J2, J3 and A) were found and georeferenced in 1594 ha (0.92 ind/ha). Of the total number of individuals located only the 18% are within the area of the

Chingaza National Park, the rest are situated on the buffer zone. The studied *Ceroxylon quindiuense* population presents a significant clustered spatial pattern distribution within the neighborhood tested, since all *observed K* values in the Multiple distance spatial cluster analysis were greater than the *expected K* values and the *Hi confidence envelope* values (Figure 7).

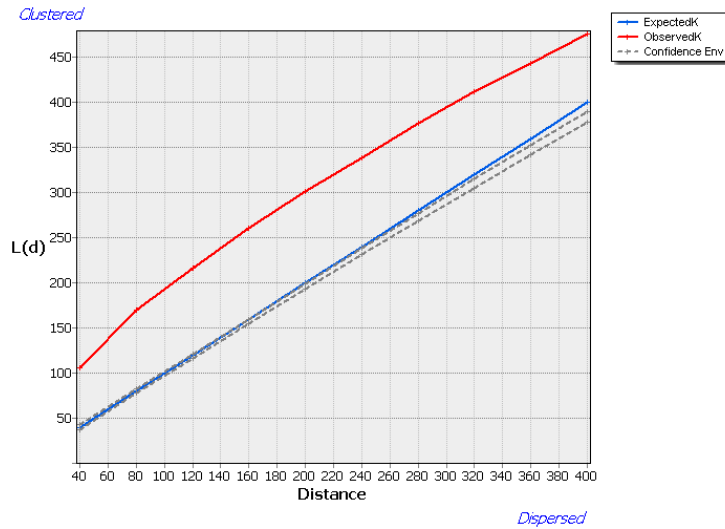


Figure 7. Measurement of spatial clustering over a range of distances. $L(d)$ represents a variation of the original Ripley's function implemented. Since the red line (Observed K values) is above the Higher confidence envelope (dotted line) a statistically significant clustering is observed in all distances tested.

The demographic structure of *C. quindiuense* in on A total of 0.55 ha were sampled where 274 palm individual were found within the five age classes: A (21.81 ind/ha), J3 (10.91 ind/ha), J2 (81.82 ind/ha.), J1 (25.45 ind/ha) and S (358.18 ind/ha).

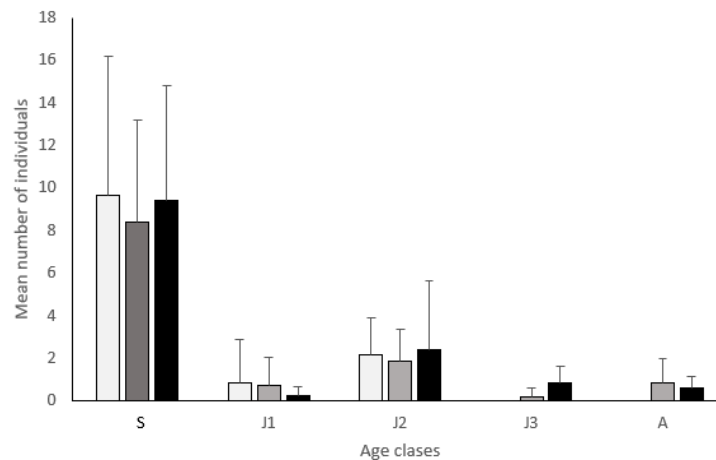


Figure 8. Demographic structure (mean number of individuals of each age class) of *C. quindiuense* population in a gradient of density areas represented in high (black bars), medium (grey bars) and low (white bars) density areas.

3.2. Land cover type classification

The landscape is composed of a mature forest matrix, which is fragmented by patches of secondary growth forest and pastures (Figure 9). Mature forest contains the greatest number of palm individuals followed by pastures (Table 2). It should be noted that most pastures are close to the main road that connects these areas to the town of San Juanito, and on the contrary, patches of secondary-growth forest (formerly believed to be pastures) are located in difficult to access areas, reason why are believed to be abandoned over time. There are areas that are totally isolated by canyons that makes it difficult to access and therefore have not been heavily intervened. There was a higher density of palm individuals per hectare on mature forest Table 2 shows the results of the density of palm individuals located on each landcover type (and total area) within each land cover type are as follows.

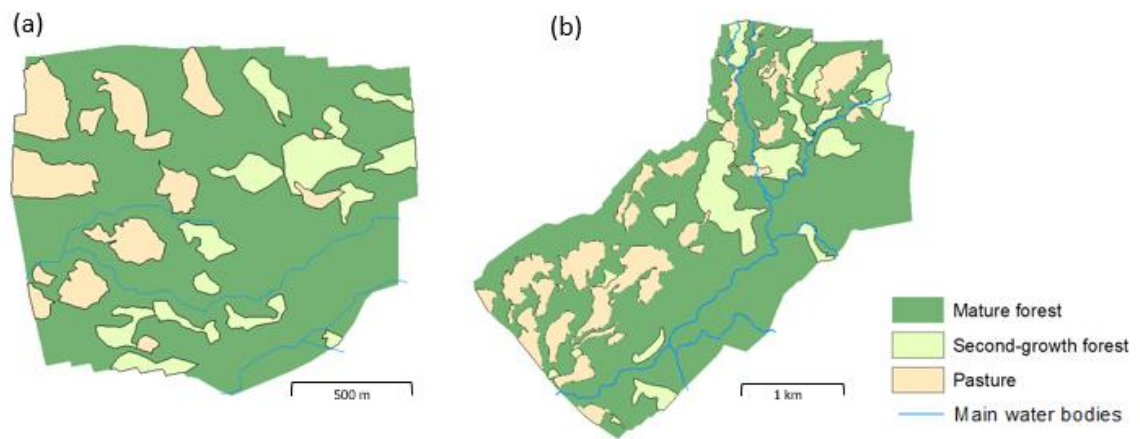


Figure 9. Land cover classification for a) El Tablón and b) San Luis de Toledo, in three main land-cover types: mature forest, second-growth forest and pastures..

Table 2. Land cover classification and associated abundances of *C. quindiuense*.

Land-cover type	Total area (ha)	Total number of palm individuals (J2, J3 and A)	Density (ind/ha)
Mature Forest	1115.85	1165	1.04
Second-growth forest	192.6	97	0.5
Pasture	257.59	199	0.77

3.3. Species distribution model

To evaluate the model performance a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve plot was obtained after testing the model with the 25% retention of the test data (Annexes 3). The curve shows the average of the replicate model runs of the proportion of presences of *C. quindiuense* correctly predicted (*y-axis*) against the proportion of pseudo-absences (background) incorrectly predicted (*x-axis*).

axes). As explained before, the value for the Area Under the Curve represents if the model is useful to predict presence of *C. quindiuense*. A high predictive performance of the model was obtained, since the AUC value obtained was of 0.96. On the other hand, Jackknife test for variable importance (Figure 10) showed that the environmental variable with highest gain when used in isolation is Elevation., which therefore appears to have the most useful information by itself. The environmental variable that decreases the gain the most when it is omitted is Elevation., which therefore appears to have the most information that isn't present in the other variables.

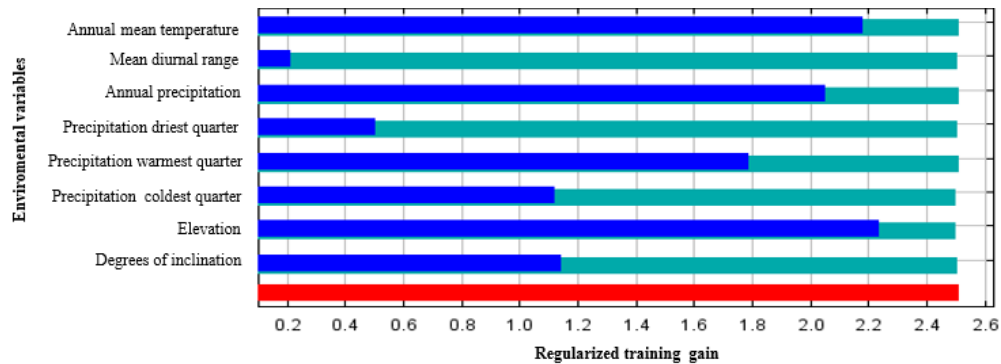


Figure 10. Averages over replicate runs of the model for the jackknife test of variable importance.

The final output for the model is a raster file of the Piedemonte province, where each pixel-cell value represent a probability of occurrence of the species, however the area predicted is interpret as the suitable environment background for the presence of *C. quindiuense*[32]. For a better fit of the model, the probability of occurrence was set to a minimum training presence threshold values of 0.25. This means that cells lower than the threshold value are not considered to represent *C. quindiuense* distribution in the map (Figure 11). The species distribution map obtain from the model shows that the palm is restrictly found on the mountain area of the Piedemonte province, specifically on the buffer area of PNNC, with a small suitable area in the Municipality of El Calvario (MC), being the only place of the province (other than the municipality of San Juanito), where a small *C. quindiuense* palm population has been reported by Chigaza Park officials[15]. A total of 7.69% of the surface area of the Piedemonte province has been predicted suitable for *C. quindiuense* distribution. However, much of the forests in the study area are fragmented with a matrix of pastures, and even though there might be palm individuals, they wont be able to regenerate since seedling can't tolerate pasture conditions.

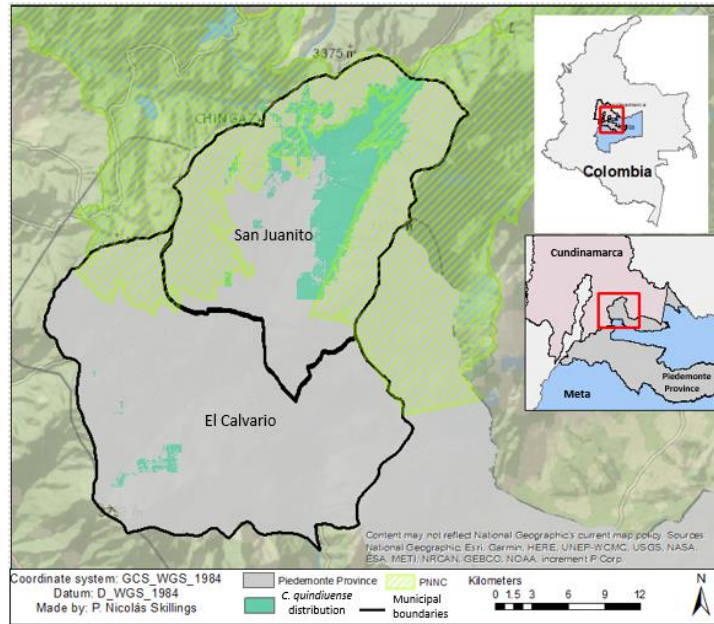


Figure 11. *Ceroxylon quindiuense* distribution in the Piedemonte province. In light-blue is shown the suitable predicted area where the species *C. quindiuense* might occur. Only the predicted distribution section in the Piedemonte province is shown.

3.4. Conservation status assessment

Following the guidelines of the IUCN Red List of species criteria at a regional level [33] *Ceroxylon quindiuense* population located in the Piedemonte province was assigned to the final category: Endangered (EN B1ab(iii) +2ab(iii)). This category was assigned according to the IUCN Red List Categories and Criteria [34], where previous results of this investigation were compared to all criteria of each threatened category. As a result, the population of *C. quindiuense* studied met with criteria B1 and subcriteria (a) and (b-iii) of the Critical Endangered category. This criteria is met when: “(B1) The extent of occurrence estimated to be less than 5000 km², and (2) area of occupancy estimated to be less than 500km² estimates indicating; (a) Severely fragmented or known to exist at only 5 location; and, (b) continuing decline inferred -iii- area, extent and/or quality of habitat” [34]. The reasons that the Quindío wax palm meets these criteria and subcriteria in the province of Piedemonte are explained next. For criterion (B1), the total distribution area estimated in the distribution model is less than 200km²; subcriterion (a), the population is considered to exist in five or less locations, due to the fact that in the case of a stochastic event like a disease or a forest fire, the species could suffer a regional extinction; subcriterion (b-iii), approximately 30% of the habitat of *C. quindiuense* has been affected over the year, as shown in Table 2. It is inferred a continuing decline of area, extent and/or quality of habitat due to different economical activities in the municipality of San Juanito and the municipality of el Calvario. Cattle and horses are still present in several pastures where the palm is present and the expansion of bean crops is a main cause for deforestation, not only for the adequacy of land for cultivation but also because locals cut young trees to use the logs as a support for the bean plants in the crops.

Effect of populations of neighboring regions on the palm population in the Piedemonte province, were determined as not significant. The fact that, although the presence of the palm in the municipality

of Gachalá is known, palm individuals are part of the same studied population for *C. quindiuense* in municipality of San Juanito since all palm individuals in both municipalities are part of the same forest and no geographical barriers separate them. No other *C. quindiuense* population is known so far, that is close enough to demographically affect the studied population. Thus Endangered final category reflects the conservation status for *C. quindiuense* within the Piedemonte province region.

4. Discussion

Quindío wax palm average densities obtained in this study (22 ind/ha) are considered low compared to populations of the same species in the Central Cordillera [3,7,13,14]. Jimenez (2017) determines that the tropical cloud forest located on the basin of the Tohecito river (in the Central Cordillera), contains the actual highest densities of adult individuals reported (159 ind/ha) for the species [14]. Other authors found similar densities through the Central Cordillera, describing the Quindío wax palm as a dominant species distributed on forest fragments in a pasture matrix [5-7,11,13,20]. These dominant population of *Ceroxylon* in the Central Cordillera are the product of a long colonization process [5-7,20,35]. Part of this is because the palm is a good competitor in the forest, because when it reaches its rosette stage (J1 and J2) it becomes very resistant to strong environmental conditions [5,6,20,36]. In addition, the large pinnate leaves that it produces in the rosette stage, slowly displace the adjacent vegetation [20,35,36]. Not only being a good competitor and resisting environmental conditions but also the high number of fruits (6000 per infructescence) produced, a high life expectancy (213 years), and the dominant tree like structure, make *Ceroxylon* species to be considered as ecosystem engineers [20,36]. However, *Ceroxylon* species have seed dispersal limitation at small spatial scales resulting in subpopulation clusters at a landscape scale, which explains the cluster spatial distribution pattern observed from the Quindío wax palm on the municipality of San Juanito [20,35]. Although it means a great mortality of seedlings, the clusters of the palms might favor the recruitment of individuals, resulting in patches where the palm might become the dominant species over time, as the palm populations on the Central Cordillera mentioned above [20,35]. Based on this, one might think that the populations located on the Eastern Cordillera are not as old (at a generational level) as those of the Central Cordillera. Therefore, it is believed that a long-distance dispersal event occurred in the municipality of San Juanito, where the species managed to increase its range of expansion, starting a recent colonization process in this area [35]. The hypothesis of the recent colonization process and a solid demographic structure obtained from this study suggest that the density of the population is just starting to increase, however, *C. quindiuense* population dynamics, ecological interactions and biogeography processes remain to be studied. In any case, it can be affirmed that the largest regional population of *C. quindiuense* of the Eastern Cordillera is in the municipality of San Juanito.

The population located in the municipality of San Juanito is not only present in the area due to historical dispersion processes, but also the environmental conditions of the site have favored the species to establish itself. Harold E. Moore and Anthony Anderson (1976) differentiated *Ceroxylon quindiuense* and *Ceroxylon alpinum* as two separated species in the Quindío Pass, referring to the first one as a "Wax palm species that lives in lower montane wet forest at altitudes between 2000-3100 m" [11]. Similar altitudes ranges are proposed by several authors [3, 7,11,36]; nevertheless, the palm has been identified on elevations up to 3150m and as low as 1550 [7,36]. In general, the optimal population elevation range for *C. quindiuense* is set to be between 2500-2900 m [7]. However, the population of *C. quindiuense* on the municipality of San Juanito, had an estimated tolerance altitudinal range between 2100 and 2800 m, where more than 80% of the population is between 2300-2600 m being this the optimal altitudinal range for the population in the municipality of San Juanito (Figure 12). This difference is explained by the way each slope of the three branches of the Colombian Andes is or is

not influenced by air masses, such as the trade winds, or the upwelling moist currents from the Magdalena valley, which combined with the altitudinal gradient, influence the local weather conditions for each slope of the Andes mountains [37] (038Smith, Page, Duffy, & R., 2012). This means that the variable Elevation by itself does not explain *C. quindiuense* presence when is used for modeling the distribution of the species in a national scale but can be used in a smaller scale.

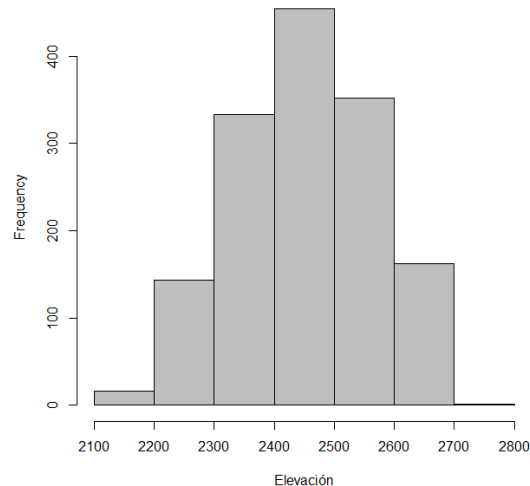


Figure 12. Number of individuals of *C. quindiuense* distributed per elevation (m) ranges in the municipality of San Juanito.

As expected, the distribution model shows that the Quindío wax palm, in the province of Piedemonte, is only distributed in the highest parts of the province, which are located precisely in the municipality of San Juanito and MC. The Quindío wax palm distribution model in the province of Piedemonte can work as tool for the implementation of conservation strategies of the species. First, the model could help find and locate other clustered areas where the palm might be present [38]. Also, if part of the strategies for conservation of the palm involve choosing the most suitable areas for an ecological restoration, it is necessary to find areas within the estimated distribution area of the species. Finally, the model also allows to locate the areas that could have a greater importance when declaring protected areas [38].

Even though it could appear that the population of *C. quindiuense* might be growing, the fragmentation and loss of habitat are being the main causes that threatens the Quindío wax palm at the province of Piedemonte. Palm resilience strategies have allowed adult individuals to survive in pastures, but eventually the population within the pastures can disappear if there is no action taken [5]. For example, 70% of a *C. quindiuense* population in a section of the Valle del Cocora in the Central Cordillera, distributed in pastures, is destined to disappear in the next 47 years, because pasture conditions don't allow regeneration [5]. Preventive measures are necessary to avoid a regional extinction of the palm. In the present day, the Chingaza National Natural Park officials have collected several seedlings of *C. quindiuense* taken to a plant nursery, to ensure its survival, and to be reintroduced when the time is appropriate [15]. Strategies of restoration, environmental education, community work and management plans have been implemented at a national level, which could provide a basis for formulating a specific strategy in the region studied in the province of Piedemonte [7,39].

5. Conclusions

In this research the conservation status for *Ceroxylon quindiuense* population on the province of Piedemonte is found to be in the category: Endangered. Only a small part of the province has the right conditions for the species to be present. Due to its dominant nature observed in populations of the Central Cordillera, it is believed that a recent colonization event occurred in the municipality of San Juanito, which could explain the low densities observed. The demographic structure of the population and its spatial pattern give indications that the population may be growing. The small area of extent, the existence of the population in only one location and the fragmentation and continuous loss of habitat are the main causes that threatens the palm population.

Funding: Transportation This research is articulated within the framework of the Portfolio of research projects of the Chingaza National Natural Park, which made available to the researcher, the facilities of the park, its vehicles and accompaniment by knowledgeable officials of the protected area.

Acknowledgments

First, I would like to thank Professor Juan Carlos Benavides for the support, advice and confidence he gave me to make this work possible. Also, a special thanks to David Hernandez, as he accompanied me to all field trips, and always showed a positive spirit and enthusiasm to work on this project. I thank Sebastián Montero, Andrés Becerra, Santiago González, Mariana Gómez, Ramiro Pulido, Carlos Acosta, Freddy, Marcelo Villa, Violeta Martínez, Santiago Sarmiento and Juan Silva, who in some way supported this research either in the field or with good advice.

Conflicts of Interest: The author declares no conflict of interest.

References

1. Congreso Nacional. "LEY 61 DE 1985." *Diario Oficial No. 37.152 de 18 de septiembre de 1985*, 1985.
2. Rodríguez, N, D. Armenteras, M. Morales, and M. Romero. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Bogotá, Colombia. 154p: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2006.
3. Galeano, G., and R. Bernal. *Lista roja de palmas en Colombia*. Bogotá D.C., 2005.
4. Borchsenius, F., and M. Moraes. "Diversidad y usos de palmeras andinas (Arecaceae)." Edited by B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev M. Moraes R. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 2006: 412-433.
5. Bernal, R., and M.J. Sanín. "Los palmares de *Ceroxylon quindiuense* (Arecaceae) En el Valle del Cocora, Quindío: perspectivas de un ícono escénico de Colombia." *Colombia Forestal* 16, no. 1 (2013): 16(1): 67-79.
6. Sanín, M. J., F. Anthelme, J.C. Pintaud, G. Galeano, and R. Bernal. "Juvenile Resilience and Adult Longevity Explain Residual Populations of the Andean Wax Palm *Ceroxylon quindiuense* after Deforestation." *PLoS ONE* 8(10): e74139. doi:10.1371/journal.pone.0074139 (PLoS ONE), 2013.
7. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Plan de conservación y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), *árbol nacional de Colombia*. Edited by Bernal R, G. Galeano y M. J. Sanín. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Universidad Nacional de Colombia, 2015.

8. Álvarez, J.C., M. Ocampo, and J. Molina. "Dinámica poblacional de *Ceroxylon quindiuense* (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) a partir de matrices de Leslie como herramienta de conservación. Salento, Colombia." *Rev. Biodivers. Neotrop.*, 2013: 42-52.
9. Azuaje, B., Á. Cruz, y L. Sánchez. «DETERMINACIÓN DE MÉTODOS DE VALORACIÓN AMBIENTAL: CASO PALMA DE CERA DEL MUNICIPIO DE SALENTO, QUINDÍO.» *Universidad La Gran Colombia* 2 (Junio 2013): 71-86.
10. Cardozo, G., y R. Guzmán. «Estudio fitosanitario de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) zona de Cocora, Departamento del Quindío-Colombia.» *Universidad del Tolima*, 1993.
11. Madriñan, S., y R. Schultes. «Colombia's national tree the wax palm *Ceroxylon quindiuense* and its relative.» *Elaeis*, 1995: 35-56.
12. Etter, A., A Andrade, y F. Uribe. *Diagnóstico del estado actual del Árbol Nacional de Colombia, la palma de cera (Ceroxylon quindiuense) en el departamento del Tolima con fines conservacionistas*. Salento: Fundación Herencia Verde, 1991.
13. Girón, M. «Programa de Investigación en los bosques de palma de cera *Ceroxylon quindiuense* y *Ceroxylon alpinum* en las regiones de Cocora (Quindío) y Alto Toche (Tolima).» *Universidad del Quindío*, 1999.
14. Jiménez, Ivon. *Estado actual de conservación de la población de Ceroxylon quindiuense (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) en la microcuenca del río Tohecito, Tolima*. Bogotá D.C.: undergraduate thesis, Pontificia Universidad Javeriana, 2017.
15. Hernández, D. (*Universidad Nacional, Bogotá, Colombia*). *Personal communication* (2018).
16. Myers, N., R.A.. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G. Fonseca, y J. Kent. «Biodiversity hotspots for conservation priorities.» *Nature*, 2000: 853-858.
17. 017Josse, et al. *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional Ecobona, Condesan-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDCUNALM, RUMBOL SR, 2009.
18. Linares, L.G., et al. *La magia de las aves de Chingaza*. Bogotá D.C.: La Imprenta Editores S.A., 2017.
19. Betancur, J. et al. *Los colores del páramo de Chingaza. Guía de plantas*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2018.
20. Anthelme, F., J. Lincango, C. Gully, N. Duarte, and R. Montúfar. "How anthropogenic disturbances affect the resilience of a keystone palm tree in the threatened Andean cloud forest?" *Biological Conservation*, 2011: 1059-1067.
21. Gobernación del Meta. "San Juanito." 2016. [www.meta.gov.co/san_juanito/\\$contigog3n3ramoso\\$portunidad%3](http://www.meta.gov.co/san_juanito/$contigog3n3ramoso$portunidad%3) (accessed 02 01, 2019).
22. Gobernación de Meta. *TodaColombia*. 08 07, 2010. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/meta.html> (accessed 04 20, 2019).

23. DroneDeploy. *DroneDeploy [movilApp]*. 09 de 2018. <https://www.dronedeploy.com/>.
24. AgiSoft PhotoScan Professional. *AgiSoft*. 2018. Retrieved from <http://www.agisoft.com/downloads/installer/> (accessed 03 2019).
25. ESRI. *ArcGIS Desktop*. 2018. <http://desktop.arcgis.com/es/> (accessed 03 219).
26. ESRI. *ArcGIS Pro* . 27 de 03 de 2019. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-point-density-works.htm> (último acceso: 03 de 2019).
27. Bailey, T. C., and A. C. Gatrell. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow, U.K., 1995.
28. Boots, B., and A. Getis. "Point Pattern Analysis." *Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences*, 1988: series no. 07-001.
29. ESRI. *ArcGIS Pro*. 2018. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-multi-distance-spatial-cluster-analysis-ripl.htm> (accessed 03 2019).
30. Fick, S.E., and R.J. Hijmans. *Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces dor global land areas*. 2017. <http://worldclim.org/version2> (accessed 05 2019).
31. Phillips, S.J., M. Dudík, and R.E. Schapire. *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)*. 3 28, 2019. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
32. Phillips, S.J., R. Anderson, and R. Schapire. "Maximum entropy modeling of species geographic distributions." *Ecological Modellings*, 2006: 231-259.
33. IUCN. *Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0*. Vol. III. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012.
34. IUCN. *Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iv + 32pp, 2012a.
35. Trénel, P., Hansen, M., S., N., & F., B. (2008). Blackwell Publishing Ltd Landscape genetics, historical isolation and cross-Andean gene flow in the wax palm, *Ceroxylon echinulatum*. *Molecular Ecology*, 17, 3528-3540.
36. Sanín, M.J., Galeano, G. (2011). A revision of the Andean wax palms, *Ceroxylon* (Arecaceae). *Phytotaxa*, 34: 1-64.
37. Narváez-Bravo, G., & Gloria, L.-A. (2001). Caracterización y zonificación climática de la región Andina. . *Meteorology-Colombia*, 4:121-126.
38. 038Smith, A., Page, B., Duffy, K., & R., S. (2012, June 28). Using Maximum Entropy modeling to predict the potential distributions of large trees for conservation planning. Retrieved from Esajournal: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/ES12-00053.1>
39. Sanín, M. J. (2013). Estudios ecológicos y ecoluticos de *Ceroxylon* (Palmae:Ceroxyloideae), Ph.D. Thesis, . Universidad Nacional de Colombia, pp 267.

ANEXOS

1. Drones Journal Instructions for Authors

Submission Checklist

- a) read the Aims & Scope to gain an overview and assess if your manuscript is suitable for this journal;
- b) use the Microsoft Word template or LaTeX template to prepare your manuscript;
- c) make sure that issues about publication ethics, research ethics, copyright, authorship, figure formats, data and references format have been appropriately considered;
- d) ensure that all authors have approved the content of the submitted manuscript.

Manuscript Submission Overview

Types of Publications

Drones has no restrictions on the length of manuscripts, provided that the text is concise and comprehensive. Full experimental details must be provided so that the results can be reproduced. Drones requires that authors publish all experimental controls and make full datasets available where possible (see the guidelines on Supplementary Materials and references to unpublished data).

Manuscripts submitted to Drones should neither been published before nor be under consideration for publication in another journal. The main article types are as follows:

- **Articles:** Original research manuscripts. The journal considers all original research manuscripts provided that the work reports scientifically sound experiments and provides a substantial amount of new information. Authors should not unnecessarily divide their work into several related manuscripts, although Short Communications of preliminary, but significant, results will be considered. Quality and impact of the study will be considered during peer review.
- **Reviews:** These provide concise and precise updates on the latest progress made in a given area of research. Systematic reviews should follow the PRISMA guidelines.

Submission Process

Manuscripts for Drones should be submitted online at susy.mdpi.com The submitting author, who is generally the corresponding author, is responsible for the manuscript during the submission and peer-review process. The submitting author must ensure that all eligible co-authors have been included in the author list (read the criteria to qualify for authorship) and that they have all read and approved the submitted version of the manuscript. To submit your manuscript, register and log in to the submission website. Once you have registered, [click here](#) to go to the submission form for Drones. All co-authors can see the manuscript details in the submission system, if they register and log in using the e-mail address provided during manuscript submission.

Accepted File Formats

Authors must use the Microsoft Word template or LaTeX template to prepare their manuscript. Using the template file will substantially shorten the time to complete copy-editing and publication of accepted manuscripts. The total amount of data for all files must not exceed 120 MB. If this is a problem, please contact the editorial office drones@mdpi.com. Accepted file formats are:

Microsoft Word: Manuscripts prepared in Microsoft Word must be converted into a single file before submission. When preparing manuscripts in Microsoft Word, the Drones Microsoft Word template file must be used. Please insert your graphics (schemes, figures, etc.) in the main text after the paragraph of its first citation.

Supplementary files: May be any format, but it is recommended that you use common, non-proprietary formats where possible (see below for further details).

Manuscript Preparation

General Considerations

- Research manuscripts should comprise:
 - Front matter: Title, Author list, Affiliations, Abstract, Keywords
 - Research manuscript sections: Introduction, Results, Discussion, Materials and Methods, Conclusions (optional).
 - Back matter: Supplementary Materials, Acknowledgments, Author Contributions, Conflicts of Interest, References.
- Review manuscripts should comprise the front matter, literature review sections and the back matter. The template file can also be used to prepare the front and back matter of your review manuscript. It is not necessary to follow the remaining structure. Structured reviews and meta-analyses should use the same structure as research articles and ensure they conform to the PRISMA guidelines.
- Graphical abstract: Authors are encouraged to provide a graphical abstract as a self-explanatory image to appear alongside with the text abstract in the Table of Contents. Figures should be a high quality image in any common image format. Note that images displayed online will be up to 11 by 9 cm on screen and the figure should be clear at this size.
- Abbreviations should be defined in parentheses the first time they appear in the abstract, main text, and in figure or table captions and used consistently thereafter.
- SI Units (International System of Units) should be used. Imperial, US customary and other units should be converted to SI units whenever possible
- Accession numbers of RNA, DNA and protein sequences used in the manuscript should be provided in the Materials and Methods section. Also see the section on Deposition of Sequences and of Expression Data.
- Equations: If you are using Word, please use either the Microsoft Equation Editor or the MathType add-on. Equations should be editable by the editorial office and not appear in a picture format.
- Research Data and supplementary materials: Note that publication of your manuscript implies that you must make all materials, data, and protocols associated with the publication available to readers. Disclose at the submission stage any restrictions on the availability of materials or information. Read the information about Supplementary Materials and Data Deposit for additional guidelines.
- Preregistration: Where authors have preregistered studies or analysis plans, links to the preregistration must be provided in the manuscript.
- Guidelines and standards: MDPI follows standards and guidelines for certain types of research. See https://www.mdpi.com/editorial_process for further information.

Front Matter

These sections should appear in all manuscript types

- Title: The title of your manuscript should be concise, specific and relevant. It should identify if the study reports (human or animal) trial data, or is a systematic review, meta-analysis or replication study. When gene or protein names are included, the abbreviated name rather than full name should be used.
- Author List and Affiliations: Authors' full first and last names must be provided. The initials of any middle names can be added. The PubMed/MEDLINE standard format is used for affiliations: complete address information including city, zip code, state/province, country, and all email addresses. At least one author should be designated as corresponding author, and his or her email

address and other details should be included at the end of the affiliation section. Please read the criteria to qualify for authorship.

- **Abstract:** The abstract should be a total of about 200 words maximum. The abstract should be a single paragraph and should follow the style of structured abstracts, but without headings: 1) **Background:** Place the question addressed in a broad context and highlight the purpose of the study; 2) **Methods:** Describe briefly the main methods or treatments applied. Include any relevant preregistration numbers, and species and strains of any animals used. 3) **Results:** Summarize the article's main findings; and 4) **Conclusion:** Indicate the main conclusions or interpretations. The abstract should be an objective representation of the article: it must not contain results which are not presented and substantiated in the main text and should not exaggerate the main conclusions.
- **Keywords:** Three to ten pertinent keywords need to be added after the abstract. We recommend that the keywords are specific to the article, yet reasonably common within the subject discipline.

Research Manuscript Sections

- **Introduction:** The introduction should briefly place the study in a broad context and highlight why it is important. It should define the purpose of the work and its significance, including specific hypotheses being tested. The current state of the research field should be reviewed carefully and key publications cited. Please highlight controversial and diverging hypotheses when necessary. Finally, briefly mention the main aim of the work and highlight the main conclusions. Keep the introduction comprehensible to scientists working outside the topic of the paper.
- **Results:** Provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation as well as the experimental conclusions that can be drawn.
- **Discussion:** Authors should discuss the results and how they can be interpreted in perspective of previous studies and of the working hypotheses. The findings and their implications should be discussed in the broadest context possible and limitations of the work highlighted. Future research directions may also be mentioned. This section may be combined with Results.
- **Materials and Methods:** They should be described with sufficient detail to allow others to replicate and build on published results. New methods and protocols should be described in detail while well-established methods can be briefly described and appropriately cited. Give the name and version of any software used and make clear whether computer code used is available. Include any pre-registration codes.
- **Conclusions:** This section is not mandatory, but can be added to the manuscript if the discussion is unusually long or complex.
- **Patents:** This section is not mandatory, but may be added if there are patents resulting from the work reported in this manuscript.

Back Matter

- **Supplementary Materials:** Describe any supplementary material published online alongside the manuscript (figure, tables, video, spreadsheets, etc.). Please indicate the name and title of each element as follows Figure S1: title, Table S1: title, etc.
- **Acknowledgments:** All sources of funding of the study should be disclosed. Clearly indicate grants that you have received in support of your research work and if you received funds to cover publication costs. Note that some funders will not refund article processing charges (APC) if the funder and grant number are not clearly and correctly identified in the paper. Funding information can be entered separately into the submission system by the authors during submission of their manuscript. Such funding information, if available, will be deposited to FundRef if the manuscript is finally published.
- **Author Contributions:** Each author is expected to have made substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data; or the creation of new software used in the work; or have drafted the work or substantively revised it; AND has approved the submitted version (and version substantially edited by journal staff that

involves the author's contribution to the study); AND agrees to be personally accountable for the author's own contributions and for ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work, even ones in which the author was not personally involved, are appropriately investigated, resolved, and documented in the literature.

For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used "Conceptualization, X.X. and Y.Y.; Methodology, X.X.; Software, X.X.; Validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; Formal Analysis, X.X.; Investigation, X.X.; Resources, X.X.; Data Curation, X.X.; Writing – Original Draft Preparation, X.X.; Writing – Review & Editing, X.X.; Visualization, X.X.; Supervision, X.X.; Project Administration, X.X.; Funding Acquisition, Y.Y.", please turn to the CRediT taxonomy for the term explanation. For more background on CRediT, see here. "Authorship must include and be limited to those who have contributed substantially to the work. Please read the section concerning the criteria to qualify for authorship carefully".

- Conflicts of Interest: Authors must identify and declare any personal circumstances or interest that may be perceived as inappropriately influencing the representation or interpretation of reported research results. If there is no conflict of interest, please state "The authors declare no conflict of interest." Any role of the funding sponsors in the choice of research project; design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results must be declared in this section. Drones does not publish studies funded by the tobacco industry. Any projects funded by pharmaceutical or food industries must pay special attention to the full declaration of funder involvement. If there is no role, please state "The sponsors had no role in the design, execution, interpretation, or writing of the study".
- References: References must be numbered in order of appearance in the text (including table captions and figure legends) and listed individually at the end of the manuscript. We recommend preparing the references with a bibliography software package, such as EndNote, ReferenceManager or Zotero to avoid typing mistakes and duplicated references. We encourage citations to data, computer code and other citable research material. If available online, you may use reference style 9. below.
- Citations and References in Supplementary files are permitted provided that they also appear in the main text and in the reference list.

In the text, reference numbers should be placed in square brackets [], and placed before the punctuation; for example [1], [1–3] or [1,3]. For embedded citations in the text with pagination, use both parentheses and brackets to indicate the reference number and page numbers; for example [5] (p. 10). or [6] (pp. 101–105).

The reference list should include the full title, as recommended by the ACS style guide. Style files for Endnote and Zotero are available.

References should be described as follows, depending on the type of work:

- Journal Articles:

1. Author 1, A.B.; Author 2, C.D. Title of the article. Abbreviated Journal Name Year, Volume, page range. Available online: URL (accessed on Day Month Year).

- Books and Book Chapters:

2. Author 1, A.; Author 2, B. Book Title, 3rd ed.; Publisher: Publisher Location, Country, Year; pp. 154–196.

3. Author 1, A.; Author 2, B. Title of the chapter. In Book Title, 2nd ed.; Editor 1, A., Editor 2, B., Eds.; Publisher: Publisher Location, Country, Year; Volume 3, pp. 154–196.

- Unpublished work, submitted work, personal communication:

4. Author 1, A.B.; Author 2, C. Title of Unpublished Work. status (unpublished; manuscript in preparation).

5. Author 1, A.B.; Author 2, C. Title of Unpublished Work. Abbreviated Journal Name stage of publication (under review; accepted; in press).

6. Author 1, A.B. (University, City, State, Country); Author 2, C. (Institute, City, State, Country). Personal communication, Year.

- Conference Proceedings:

7. Author 1, A.B.; Author 2, C.D.; Author 3, E.F. Title of Presentation. In Title of the Collected Work (if available), Proceedings of the Name of the Conference, Location of Conference, Country, Date of Conference; Editor 1, Editor 2, Eds. (if available); Publisher: City, Country, Year (if available); Abstract Number (optional), Pagination (optional).

- Thesis:

8. Author 1, A.B. Title of Thesis. Level of Thesis, Degree-Granting University, Location of University, Date of Completion.

- Websites:

9. Title of Site. Available online: URL (accessed on Day Month Year).

Unlike published works, websites may change over time or disappear, so we encourage you create an archive of the cited website using a service such as WebCite. Archived websites should be cited using the link provided as follows:

10. Title of Site. URL (archived on Day Month Year).

Preparing Figures, Schemes and Tables

- File for Figures and schemes must be provided during submission in a single zip archive and at a sufficiently high resolution (minimum 1000 pixels width/height, or a resolution of 300 dpi or higher). Common formats are accepted, however, TIFF, JPEG, EPS and PDF are preferred.
- Drones can publish multimedia files in articles or as supplementary materials. Please contact the editorial office for further information.
- All Figures, Schemes and Tables should be inserted into the main text close to their first citation and must be numbered following their number of appearance (Figure 1, Scheme I, Figure 2, Scheme II, Table 1, etc.).
- All Figures, Schemes and Tables should have a short explanatory title and caption.
- All table columns should have an explanatory heading. To facilitate the copy-editing of larger tables, smaller fonts may be used, but no less than 8 pt. in size. Authors should use the Table option of Microsoft Word to create tables.
- Authors are encouraged to prepare figures and schemes in color (RGB at 8-bit per channel). There is no additional cost for publishing full color graphics.

Supplementary Materials, Data Deposit and Software Source Code

Data Availability

In order to maintain the integrity, transparency and reproducibility of research records, authors must make their experimental and research data openly available either by depositing into data repositories or by publishing the data and files as supplementary information in this journal.

Computer Code and Software

For work where novel computer code was developed, authors should release the code either by depositing in a recognized, public repository or uploading as supplementary information to the publication. The name and version of all software used should be clearly indicated.

Supplementary Material

Additional data and files can be uploaded as "Supplementary Files" during the manuscript submission process. The supplementary files will also be available to the referees as part of the peer-review process. Any file format is acceptable, however we recommend that common, non-proprietary formats are used where possible.

Unpublished Data

Restrictions on data availability should be noted during submission and in the manuscript. "Data not shown" should be avoided: authors are encouraged to publish all observations related to the submitted manuscript as Supplementary Material. "Unpublished data" intended for publication in a manuscript that is either planned, "in preparation" or "submitted" but not yet accepted, should be cited in the text and a reference should be added in the References section. "Personal Communication" should also be cited in the text and reference added in the References section. (see also the MDPI reference list and citations style guide).

Remote Hosting and Large Data Sets

Data may be deposited with specialized service providers or institutional/subject repositories, preferably those that use the DataCite mechanism. Large data sets and files greater than 60 MB must be deposited in this way. For a list of other repositories specialized in scientific and experimental data, please consult databib.org or re3data.org. The data repository name, link to the data set (URL) and accession number, doi or handle number of the data set must be provided in the paper. The journal Data also accepts submissions of data set papers.

Deposition of Sequences and of Expression Data

New sequence information must be deposited to the appropriate database prior to submission of the manuscript. Accession numbers provided by the database should be included in the submitted manuscript. Manuscripts will not be published until the accession number is provided.

- New nucleic acid sequences must be deposited in one of the following databases: GenBank, EMBL, or DDBJ. Sequences should be submitted to only one database.
- New high throughput sequencing (HTS) datasets (RNA-seq, ChIP-Seq, degradome analysis, ...) must be deposited either in the GEO database or in the NCBI's Sequence Read Archive.
- New microarray data must be deposited either in the GEO or the ArrayExpress databases. The "Minimal Information About a Microarray Experiment" (MIAME) guidelines published by the Microarray Gene Expression Data Society must be followed.
- New protein sequences obtained by protein sequencing must be submitted to UniProt (submission tool SPIN).

All sequence names and the accession numbers provided by the databases should be provided in the Materials and Methods section of the article.

References in Supplementary Files

Citations and References in Supplementary files are permitted provided that they also appear in the reference list of the main text.

Research and Publication Ethics

Research Ethics

Research Involving Human Subjects

When reporting on research that involves human subjects, human material, human tissues, or human data, authors must declare that the investigations were carried out following the rules of the Declaration of Helsinki of 1975 (<https://www.wma.net/what-we-do/medical-ethics/declaration-of-helsinki/>), revised in 2013. According to point 23 of this declaration, an approval from an ethics committee should have been obtained before undertaking the research. At a minimum, a statement including the project identification code, date of approval, and name of the ethics committee or institutional review board should be cited in the Methods Section of the article. Data relating to individual participants must be described in detail, but private information identifying participants need not be included unless the identifiable materials are of relevance to the research (for example, photographs of participants' faces that show a particular symptom). Editors reserve the right to reject any submission that does not meet these requirements.

Example of an ethical statement: "All subjects gave their informed consent for inclusion before they participated in the study. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and the protocol was approved by the Ethics Committee of XXX (Project identification code)."

A written informed consent for publication must be obtained from participating patients who can be identified (including by the patients themselves). Patients' initials or other personal identifiers must not appear in any images. For manuscripts that include any case details, personal information, and/or images of patients, authors must obtain signed informed consent from patients (or their relatives/guardians) before submitting to an MDPI journal. Patient details must be anonymized as far as possible, e.g., do not mention specific age, ethnicity, or occupation where they are not relevant to the conclusions. A template permission form is available to download. A blank version of the form used to obtain permission (without the patient names or signature) must be uploaded with your submission.

You may refer to our sample form and provide an appropriate form after consulting with your affiliated institution. Alternatively, you may provide a detailed justification of why informed consent is not necessary. For the purposes of publishing in MDPI journals, a consent, permission, or release form should include unlimited permission for publication in all formats (including print, electronic, and online), in sublicensed and reprinted versions (including translations and derived works), and in other works and products under open access license. To respect patients' and any other individual's privacy, please do not send signed forms. The journal reserves the right to ask authors to provide signed forms if necessary.

Publication Ethics Statement

Drones is a member of the Committee on Publication Ethics (COPE). We fully adhere to its Code of Conduct and to its Best Practice Guidelines.

The editors of this journal enforce a rigorous peer-review process together with strict ethical policies and standards to ensure to add high quality scientific works to the field of scholarly publication. Unfortunately, cases of plagiarism, data falsification, image manipulation, inappropriate authorship credit, and the like, do arise. The editors of Drones take such publishing ethics issues very seriously and are trained to proceed in such cases with a zero tolerance policy.

Authors wishing to publish their papers in Drones must abide to the following:

- Any facts that might be perceived as a possible conflict of interest of the author(s) must be disclosed in the paper prior to submission.
- Authors should accurately present their research findings and include an objective discussion of the significance of their findings.

- Data and methods used in the research need to be presented in sufficient detail in the paper, so that other researchers can replicate the work.
- Raw data should preferably be publicly deposited by the authors before submission of their manuscript. Authors need to at least have the raw data readily available for presentation to the referees and the editors of the journal, if requested. Authors need to ensure appropriate measures are taken so that raw data is retained in full for a reasonable time after publication.
- Simultaneous submission of manuscripts to more than one journal is not tolerated.
- Republishing content that is not novel is not tolerated (for example, an English translation of a paper that is already published in another language will not be accepted).
- If errors and inaccuracies are found by the authors after publication of their paper, they need to be promptly communicated to the editors of this journal so that appropriate actions can be taken. Please refer to our policy regarding publication of publishing addenda and corrections.
- Your manuscript should not contain any information that has already been published. If you include already published figures or images, please obtain the necessary permission from the copyright holder to publish under the Central Cordillera -BY license. For further information, see the Rights and Permissions page.
- Plagiarism, data fabrication and image manipulation are not tolerated.
- Plagiarism is not acceptable in Drones submissions.
 - Plagiarism includes copying text, ideas, images, or data from another source, even from your own publications, without giving any credit to the original source. Reuse of text that is copied from another source must be between quotes and the original source must be cited. If a study's design or the manuscript's structure or language has been inspired by previous works, these works must be explicitly cited. If plagiarism is detected during the peer review process, the manuscript may be rejected. If plagiarism is detected after publication, we may publish a correction or retract the paper.
 - Image files must not be manipulated or adjusted in any way that could lead to misinterpretation of the information provided by the original image. Irregular manipulation includes: 1) introduction, enhancement, moving, or removing features from the original image; 2) grouping of images that should obviously be presented separately (e.g., from different parts of the same gel, or from different gels); or 3) modifying the contrast, brightness or color balance to obscure, eliminate or enhance some information. If irregular image manipulation is identified and confirmed during the peer review process, we may reject the manuscript. If irregular image manipulation is identified and confirmed after publication, we may correct or retract the paper.

Our in-house editors will investigate any allegations of publication misconduct and may contact the authors' institutions or funders if necessary. If evidence of misconduct is found, appropriate action will be taken to correct or retract the publication. Authors are expected to comply with the best ethical publication practices when publishing with MDPI.

Editorial Procedures and Peer-Review

Initial Checks

All submitted manuscripts received by the Editorial Office will be checked by a professional in-house Managing Editor to determine whether they are properly prepared and whether they follow the ethical policies of the journal, including those for human and animal experimentation. Manuscripts that do not fit the journal's ethics policy or do not meet the standards of the journal will be rejected before peer-review. Manuscripts that are not properly prepared will be returned to the authors for revision and resubmission. After these checks, the Managing Editor will consult the journals' Editor-in-Chief or Associate Editors to

determine whether the manuscript fits the scope of the journal and whether it is scientifically sound. No judgment on the potential impact of the work will be made at this stage. Reject decisions at this stage will be verified by the Editor-in-Chief.

Peer-Review

Once a manuscript passes the initial checks, it will be assigned to at least two independent experts for peer-review. A single-blind review is applied, where authors' identities are known to reviewers. Peer review comments are confidential and will only be disclosed with the express agreement of the reviewer.

In the case of regular submissions, in-house assistant editors will invite experts, including recommendations by an academic editor. These experts may also include Editorial Board members and Guest Editors of the journal. Potential reviewers suggested by the authors may also be considered. Reviewers should not have published with any of the co-authors during the past five years and should not currently work or collaborate with any of the institutions of the co-authors of the submitted manuscript.

Editorial Decision and Revision

- All the articles, reviews and communications published in MDPI journals go through the peer-review process and receive at least two reviews. The in-house editor will communicate the decision of the academic editor, which will be one of the following:
- Accept after Minor Revisions: The paper is in principle accepted after revision based on the reviewer's comments. Authors are given five days for minor revisions.
- Reconsider after Major Revisions: The acceptance of the manuscript would depend on the revisions. The author needs to provide a point by point response or provide a rebuttal if some of the reviewer's comments cannot be revised. Usually, only one round of major revisions is allowed. Authors will be asked to resubmit the revised paper within a suitable time frame, and the revised version will be returned to the reviewer for further comments.
- Reject and Encourage Resubmission: If additional experiments are needed to support the conclusions, the manuscript will be rejected and the authors will be encouraged to re-submit the paper once further experiments have been conducted.
- Reject: The article has serious flaws, and/or makes no original significant contribution. No offer of resubmission to the journal is provided.

All reviewer comments should be responded to in a point-by-point fashion. Where the authors disagree with a reviewer, they must provide a clear response.

Production and Publication

Once accepted, the manuscript will undergo professional copy-editing, English editing, proofreading by the authors, final corrections, pagination, and, publication on the www.mdpi.com website.

2. Marco Referencial

2.1. Marco Teórico

Los temas a tratar en el marco teórico que se consideran fundamentales para entender el trasfondo de esta investigación, y los cuales se abordaran según su importancia, son 5 principalmente: 1) Bosques Andinos, 2) Biología de la Conservación, 3) Ecología de poblaciones, 4) Ecología de palmas y 5) Fotogrametría. En primer lugar, se describen los ecosistemas andinos en general, dando un enfoque hacia los ecosistemas más importantes donde se encuentra la palma de cera del Quindío. Además, se muestra la importancia y las afectaciones que sufren estos ecosistemas en la actualidad. La biología de la conservación es el siguiente tema que se expone, debido a que esta investigación tiene como objetivo general, evaluar el estado de las poblaciones de estudio que se encuentran en las áreas de amortiguación del PNNC, por lo que es importante entender cómo se logra llegar a definir el estado de conservación de una especie en un lugar determinado. En tercer lugar, se expone los conceptos más importantes a tener en cuenta, al estudiar una población, por lo que se muestra las bases teóricas de la ecología de poblaciones. El cuarto tema, que se expone, es sobre las generalidades de las palmas, las características principales del género *Ceroxylon*, y de la especie de estudio, para así comprender por qué se tomaron en cuenta ciertos factores ambientales que pueden determinar la presencia de la palma dentro del área de estudio. Finalmente, se hace una breve descripción de los temas relevantes para la investigación de la fotogrametría, ya que se utiliza las bases de esta ciencia para generar resultados importantes en esta investigación.

2.1.1. Bosques Andinos Tropicales

La región de los Andes tropicales es considerada dentro de las regiones naturales más biodiversas del planeta. Encabezan la lista de las áreas terrestres con prioridad para la conservación a nivel mundial, también llamados *hotspots* de la biodiversidad, ya que contiene el mayor número de especies endémicas, además, de presentar grandes amenazas debido a la fragmentación y pérdida de hábitat (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Fonseca, & Kent, 2000). Esta región va desde aproximadamente los 65 m.s.n.m hasta casi los 5.500 m.s.n.m. en la cordillera de los Andes, donde existen alrededor de 133 ecosistemas que pueden estar categorizadas dentro de cinco grandes paisajes: 1) los páramos, 2) las punas, 3) los bosques andinos tropicales o bosques montanos, 4) los valles secos interandinos y 5) los desiertos de altura o salares (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009) & (Josse *et al.*, 2009). Los bosques ubicados sobre la cordillera de los Andes que están entre los 1.000 msnm hasta la línea superior del bosque son denominados Bosques de los Andes Tropicales (BAT) (IDEAM, 2001). Estos bosques cubren aproximadamente un área de 154.3 millones de hectáreas desde el occidente de Venezuela hasta la frontera entre Bolivia, Chile y Argentina (Josee & *et al.*, 2009).

En los BAT habitan más de 40 millones de personas que logran asentarse en la cordillera gracias a los servicios ecosistémicos que estos bosques les brindan (Quintero, Benavides, Moreno, & Gonzalez, 2017). Entre los servicios ecosistémicos más importantes de los bosques andinos, está: la capacidad de acumular y absorber grandes cantidades de carbono orgánico; la fertilidad de sus suelos; la protección de cuencas hidrográficas; abastecimiento de agua; la reducción de la erosión; prevención de derrumbes; y regulación del clima a nivel

regional (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009). En la actualidad los BAT se han reducido en una décima parte de lo que era su extensión original (Quintero, Benavides, Moreno, & Gonzalez, 2017). Lo anterior, ha generado bastante preocupación debido a no solo la afectación a los asentamientos humanos, que se ven afectados por la reducción de estos servicios ambientales, sino que además ha generado una pérdida de biodiversidad. Las razones principales de la reducción de los BAT se deben a los fenómenos como el cambio climático, la deforestación y la alta tasa de incendios forestales (Josse et al., 2009).

2.1.1.1. Ecosistemas andinos en Colombia.

Colombia tiene aproximadamente el 23 % del área total de la ecorregión que compone los ecosistemas de los Andes Tropicales. Debido al conjunto de factores geológicos, climáticos, las distintas variedades de suelos y la geomorfología; se originan variedades de formaciones vegetales que se ven representadas por páramos, bosques altoandinos, andinos y subandinos (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006). Según Josse *et al.* (2009), el 59% del área de la ecorregión de los Andes tropicales en Colombia son áreas intervenidas; cifras que son preocupantes, dado que la deterioración de estos ecosistemas son la razón principal de la pérdida de biodiversidad. Colombia tiene un papel fundamental en la conservación de estos ecosistemas, ya que cuenta con una cifra importante de endemismos. Se estima que estos ecosistemas aportan un total de 10.000 especies de flora, lo que corresponden al 25% del total del país (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006). En cuanto a la fauna, en la región de los Andes colombianos, se referencian 177 especies de mamíferos, 974 de aves, 128 de reptiles, 380 de anfibios y 184 de peces (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006). Lo antes expuesto permite que Colombia sea considerado como un país megadiverso y se posiciona en segundo lugar en cuanto al ranking mundial de biodiversidad (Colciencias, 2016).

2.1.2. *Biología de la Conservación*

Según Soulé (1985), la biología de la conservación es una disciplina que busca la aplicación de la ciencia a problemas relacionados con la conservación, en el cual el foco está en poblaciones y ecosistemas que han sido afectados por diferentes presiones del ser humano. En este sentido, su objetivo es brindar las herramientas para preservar la biodiversidad (Soulé, 1985).

El cambio climático, la degradación y fragmentación de ecosistemas, la introducción de especies exóticas, la sobreexplotación y la contaminación son tan solo algunos motores de cambio que han causado una gran pérdida de la biodiversidad (Amaya, Gómez, Amaya, Velásquez, & Renjifo, 2011). Se calcula que alrededor de 872 especies en todo el mundo han desaparecido desde el año 1500 (IUCN, 2010), y son atribuidas en su mayoría por causa de actividades antrópicas; dando así, a lo que se ha denominado hoy en día como la *Sexta Extinción Masiva*, la cual se diferencia de las anteriores extinciones en cuanto a su magnitud y el poco tiempo en el que se está llevando a cabo (Ceballos, 2010). La Biología de la Conservación surge como una solución a la crisis que enfrenta el ser humano al darse cuenta de las consecuencias que le causa la degradación de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad (Primack, 2012). Por lo anterior, Primack (2012) propone tres propósitos principales de esta ciencia: primero, investigar y describir la diversidad que hay en el mundo, segundo, entender los efectos de las actividades humanas sobre las especies, las comunidades

y lo ecosistemas y, finalmente, desarrollar enfoques interdisciplinarios que tengan como objetivo proteger y restaurar la diversidad biológica además de prevenir su deterioro.

2.1.2.1. Criterios de la lista roja de la UICN a nivel regional

Debido a que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), reconoció la necesidad de contar con criterios coherentes para la aplicación de las Categorías de la Lista Roja a nivel regional, se creó una guía denominada “Directrices para el uso de los criterios de la lista roja de la UICN a nivel Regional y Nacional”. Esta guía expone los parámetros e instrucciones que se deben tener en cuenta al generar un diagnóstico a nivel regional, dándose a entender que una región se refiera a “cualquier zona geográfica definida a nivel submundial, tal como continente, país, estado o provincia” (UICN, 2012). Esta guía, debe usar y tener en cuenta Las Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN (IUCN, 2012).

2.1.3. *Ecología de poblaciones*

Según Akçakanya *et al.* (1999) una población se puede definir como el conjunto de individuos de la misma especie que se ubican en un mismo tiempo y están lo suficientemente cerca geográficamente unos de los otros para poder reproducirse. El mismo autor define entonces la ecología de poblaciones como una disciplina que se preocupa por entender cómo las poblaciones de los diferentes organismos se distribuyen y cambian a través del tiempo y cómo estas interactúan con su ambiente.

2.1.3.1. Propiedades emergentes de las poblaciones:

Se hace referencia a las propiedades emergentes de las poblaciones, a todas aquellas mediciones o parámetros que se puedan medir de la agrupación de individuos de la misma especie. Las principales propiedades emergentes son:

- (1) Tamaño poblacional: Es el número total de individuos que compone una población.
- (2) Densidad: Es la cantidad de individuos por unidad de área.
- (3) Patrón de distribución: El patrón de distribución hace referencia a como los individuos de una población se distribuyen en un espacio y momento determinado. El arreglo espacial de una población puede ser de tres tipos: Uniforme, de manera aleatoria y de una distribución agrupada. El estudio del patrón de distribución de las especies puede llegar a ser muy útil para explicar si existe algún tipo de perturbación antrópica o fenómeno natural que este causando ese tipo de distribución dentro de la población.
- (4) Parámetros demográficos: Son procesos que generan cambios dentro del tamaño poblacional. Existen cuatro procesos principales para entender las dinámicas dentro de una población: Tasa de natalidad (es la proporción de individuos que nacen en determinado tiempo), tasa de mortalidad (es la proporción de individuos que mueren en determinado tiempo), tasa de emigración (es la proporción de individuos que se van de una población en determinado tiempo) y tasa de inmigración (es la proporción de individuos que llegan a la población en determinado tiempo)
- (5) Tasa de crecimiento poblacional: La tasa de cambio del tamaño de la población que se da por el resultado de las muertes, los nacimientos, las emigraciones e inmigraciones se denomina tasa de crecimiento poblacional.
- (6) Estructura poblacional: La estructura poblacional es un factor clave que esta caracterizado por el número de individuos presentes en determinada clase de edad y permite identificar la proporción de machos y hembras en la población. Permite identificar si la población esta creciendo, manteniéndose estable o disminuyendo. (Carabias, Meave, Valverde, & Cano, 2009, págs. 22-24)

2.1.4. *Ecología de palmas (Arecaceae)*

Arecaceae, es una familia de plantas monocotiledóneas del orden *Arecales*. Está compuesta por 2364 especies que están distribuidas en aproximadamente 180 géneros (Govaerts & Dransfield, 2005). Se distribuye en zonas pantropicales, y se encuentran principalmente en: América (desde el estado de Texas en Estados Unidos hasta el norte de Argentina), África (desde Madagascar hasta todo el norte del continente), Asia (En el Oriente Medio hasta Japón) y Oceanía (en el norte desde Las Filipinas hasta el norte de Australia) (Eiserhardt, Svenning, Kissling, & Balslev, 2011). Muchas especies de palmas cumplen una función clave dentro de los ecosistemas, brindando alimento y refugio a muchas especies de vertebrados, artrópodos, líquenes y epifitas, siendo entonces consideradas como especies sombrilla. Además de esto, son la segunda especie de monocotiledóneas más importante en cuanto a sus usos, después de las gramíneas, ya que son utilizadas principalmente como alimento, construcción y artesanías (Borchsenious & Moraes, 2006).

2.1.4.1. Género *Ceroxylon*

El género *Ceroxylon* fue descrito, con la especie *Ceroxylon alpinum* Bonpl. ex DC. como la especie tipo, por Bonpland en 1804. El género comprende de 12 especies, distribuidas a lo largo de los Andes desde Venezuela hasta Bolivia. En Colombia se encuentran 7 especies de este género donde 4 se han categorizado en algún riesgo de extinción, siendo una de esta, endémica y categorizada como en Peligro Crítico (Sanín & Galeano, 2011).

2.1.4.2. *Ceroxylon quindiuense*

Antes de hacer una descripción general de la especie, se explicará brevemente el reconocimiento histórico de la Palma de Cera del Quindío. En 1801 Alexander Von Humboldt y Aimé-Jacques Bonpland cruzaron los Andes Centrales de Colombia, atravesando El Camino Nacional, una ruta que comunicaba Santa Fe de Bogotá y el occidente del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En 1805 Humboldt y Bonpland publicaron una memoria de su expedición, donde describieron la primera especie del género (*Ceroxylon andicola*, que luego se renombró como *C. alpinum*). Lo anterior, causó gran asombro y curiosidad, debido a que no se conocía en la época plantas de 58 metros de altura, que toleren temperaturas de hasta 6°C, y estuvieran presentes en elevaciones de hasta 2825 m.s.n.m. según lo descrito en la memoria publicada (Madriñan & Schultes, 1995). Tanto así, que el geólogo/agrólogo/químico francés, J.-B.J. Dieudonne, escribió en su diario de campo al visitar el sector de Las Cruces en Quindío, y maravillarse con el paisaje de estas palmas, lo siguiente:

“Desde esta estación, la vista descansa sobre el verde horizonte donde la gigantesca palma de cera (*Ceroxylon*) sobresale en numerosos grupos como columnas blancas. Desde lejos, estas columnas paralelas dan un efecto de mástiles de veleros anclados a puerto”

En 1956, durante un viaje por Suramérica, el botánico alemán Hermann Karsten, descubrió tres especies de palma de cera nuevas, las cuales las describió dentro del género

nuevo *Klopstockia*. Aquí fue donde se describió por primera vez la Palma de Cera del Quindío, y tuvo el nombre *Klopstockia quindiuense* hasta que, en 1860, el botánico alemán, Herman Wendland redujo el género *Klopstockia* como una sinonimia del género más antiguo: *Ceroxylon* (Madriñan & Schultes, 1995). Por lo anterior el nombre científico de la Palma de Cera del Quindío es: *Ceroxylon quindiuense* (H. Karst.) H. Wendl.

A continuación, se dará una descripción general de la especie, teniendo en cuenta los siguientes parámetros que se consideraron más relevantes: (1) descripción morfológica, (2) historia de vida, (3) ecología, (4) hábitat, y finalmente (5) usos y amenazas.

2.1.4.2.1. Descripción morfológica:

En seguida se da la descripción dada por Sanín & Galeano en el artículo publicado en el año 2011:

“**Tallo:** (13–) 20–45 (–60) m de altura, 25–40 cm de diámetro, blanco, con cicatrices prominentes en las hojas, cubierto con una capa de cera. **Hojas:** 14–20, en una densa corona hemisférica; vaina 70–120 (–176) cm, cubierta con un indumentum grueso, marrón claro; pecíolo (29–) 44–80 cm de largo, 8.5–10.0 cm de ancho en el ápice, cubierto abaxialmente con indumentum blanco de escamas deciduas con bases cerosas persistentes; raquis de 185–350 (–540) cm de largo, adaxialmente aplanado en $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$ de su longitud; pinnas 70–128 a cada lado, dispuestas regularmente en un plano, completamente colgantes, con una superficie adaxial brillante, verde oliva, superficie abaxial y nervio central cubierto densamente con, escamas acolchadas lineales, de color blanco a crema; la pina filiforme más basal 34–56 × 0.3–0.4 mm, la pina basal (décima parte de la base) 49–130 × 1.1–2.0 cm, la pina media 70–154 × (3.2–) 4.4–6.0 cm, la pina apical 41–62 × 0.7–2.5 cm, libre. **Inflorescencias estaminadas:** 1–2 a la vez; brácteas pedunculares 6–7, con una bráctea más pequeña adicional insertada en la base del pedúnculo; raquis de 102 cm de largo, con aproximadamente 91 ramas, cada una subtendida por una bráctea pequeña, membranacea, acuminada, raquis y ramas glabrescentes, ramas más largas de 42 cm de largo. **Inflorescencias pistiladas:** 2–5 a la vez; pedúnculo de 150–280 cm de largo, 4 cm de ancho en el ápice, cubierto con escamas dispersas, marrones, erosionadas, adpresas; brácteas pedunculares 5–7, brácteas profilácticas y pedúnculos cubiertas con escamas, de color marrón; raquis de 90–163 cm de largo, con 63–76 ramas, cada una subtendida por una bráctea membranosa de 0.2–2.0 cm de largo, ramas más largas de 68–80 cm de largo; Rachis y rachillae glabras. **Flores estaminadas:** sépalos 3 (–4), ampliamente triangulares, 1.0–1.2 mm de largo, connatos para 0.4 mm ($\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{2}$ de la longitud total), que alcanzan o exceden la longitud total del tubo de la corola; pétalos 3 (–5), elípticos, acuminados largos, 4–7 mm de largo, incluyendo una visión de 1.0–1.5 (–3.5) mm de largo; estambres 9–12 (–17), 3–6 estambres antisépticos y 3–9 (–11) estambres antipétalos, filamentos 1.0–3.5 (–4.5) mm de largo, insertados en la parte central basal de la antera, anteras de 2.2 mm de largo, antera conectiva no proyectada. **Flores pistiladas:** sépalos 3, acuminado ampliamente triangular, 1.5 mm de largo, connatos para 1 mm ($\frac{2}{3}$ de longitud total), sin alcanzar el tubo de la corola, pétalos 3, acuminados elípticos, 4.0–7.5 mm de largo; staminodes 12, 1–2 antiséptico, 2–3 antipétalo, filamentos de 3 mm de largo, anteras abortivas de 1,2 mm de largo, pistilo trídico, 2–3 mm de diámetro. **Frutos globosos:** rojo anaranjado cuando están maduros, 1.6–2.0 cm de diámetro, exocarpado muy minúsculo; fructificación del perianto con sépalos de 1–2 mm de largo, connatos en 0.2–0.5 mm, lóbulos que alcanzan o exceden el tubo de la corola. Semillas 1 cm diámetro.” (Sanín & Galeano, 2011, pág. 47).

2.1.4.2.2. Distribución

C. quindiuense se encuentra en las tres cordilleras de Colombia. Sobre la Cordillera Oriental se han reportado varios palmares sobre áreas de amortiguación del Parque Nacional Natural Chingaza (PNNC) (Rodríguez & Santamaria, 2016). Los palmares ubicados en la Cordillera Occidental están en su mayoría sobre una pequeña área entre los departamentos de Antioquia y Caldas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). en la Cordillera Central de *C. quindiuense* crecen en ambas vertientes de la cordillera a lo largo de aproximadamente 360 km, siendo consideradas las poblaciones más abundantes y de mejor estado de conservación (Sanín, Anthelme, Pintaud, Gloria, & Bernal, 2013).

2.1.4.2.3. Historia de vida

La palma de cera del Quindío es una especie longeva ya que puede superar los 130 años, así mismo, la edad para la primera producción de flores es de aproximadamente 57 años (Sanín et al., 2013). Se estima que crece un metro al año una vez la palma empieza a producir el tallo aéreo. Una vez entra en fase reproductiva, el alargamiento del tallo se hace más lento. Recientemente Rodrigo Bernal (2018), reporto que la palma de cera puede mutar de sexo, especialmente en condiciones donde la palma se encontrara por debajo de los 2400 m.s.n.m. (Redacción VIVIR, 2018), donde antes se creía que las palmas eran dioicas y que por lo general las proporciones de sexo son parejas (Sanín et al., 2013). Al ser polinizada por pequeños escarabajos nitidúlidos, se demora aproximadamente ocho meses en desarrollan frutos totalmente maduros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Se estima que las semillas tardan alrededor de 5-15 meses para que logren germinar plántulas muestran dos primeras hojas lanceoladas, plegadas, blanquecinas o plateadas en el envés (Bernal & Sanín, 2013).

2.1.4.2.4. Usos y amenazas

Se conoce que *Ceroxylon quindiuense* fue una especie muy abundante en Colombia hasta principios del siglo pasado (Madríñan & Schultes, 1995), y aunque algunas poblaciones grandes persisten en la Cordillera Central, se ha clasificado como En Peligro (Galeano & Bernal, 2005). La mayoría de los bosques donde crece, se han convertido en potreros, y mientras cientos de palmas adultas aún están en pie, las plántulas no sobreviven debido a la radiación solar (Sanín & Galeano, 2011). Asimismo, los usos que se le daba a la palma como el corte de hojas jóvenes para el Domingo de Ramos, la utilización de su tronco para construir cercas y la obtención de la cera del tronco (Etter, Andrade, & Uribe, 1991), causó la muerte de muchos individuos y un retraso en el crecimiento normal de las palmas. Además, en la última década, una enfermedad nueva y desconocida ha causado la muerte de muchas palmas adultas, y hasta el momento no se ha logrado generar un diagnóstico adecuado (Cardozo & Guzmán, 1993).

2.1.5. Fotogrametría

La fotogrametría es la ciencia que, por medio del análisis de dos o más imágenes fotográficas, logra definir con precisión la forma, dimensión y posición en el espacio del ambiente u objetos fotografiados (Quirós, 2014). Por lo anterior, su nombre etimológico significa “la métrica de lo escrito con luz”. La precisión de las medidas echas sobre las fotografías permite encontrar distancias, ángulos, áreas, volúmenes, elevaciones y tamaños y formas de los objetos (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014). Las aplicaciones más comunes en la fotogrametría es la creación de mapas planimétricos, topográficos, ortomosaicos y modelos digitales de superficie a través de fotografías aéreas. Hoy en día los avances tecnológicos han generado la posibilidad de tomar las fotografías aéreas por medio de Vehículos Aéreos no Tripulados (RPA), lo que hace posible tener productos fotogramétricos de manera más rápida y a costos mucho más reducidos.

2.1.5.1. Vehículos Aéreos no Tripulados (RPA)

El termino vehículos aéreos no tripulados denominado también RPA por sus siglas en ingles *Remote piloted aircraft*, hace referencia a “cualquier aeronave que no transporta un operador humano, y utiliza las fuerzas aerodinámicas para producir sustentación, y que además, puede volar de manera autónoma o es piloteada mediante un control remoto” (Bone & Bolkkcom, 2003). Las aplicaciones que puede tener esta tecnología hoy en día en cuanto a la conservación de la biodiversidad y el cuidado del medio ambiente son de gran importancia, ya que pueden genera información de manera rápida y muy precisa, ahorrando tiempo y dinero en proyectos de investigación. Hoy en día los RPA tienen la capacidad de volar a largas distancias, por un tiempo significativo y cargar diferentes tipos de sensores remotos, que permite que se logre obtener información actualizada de los terrenos que se quieren estudiar. Asimismo, los RPA cuentan con un modulo de GPS integrado que permite ubicar la aeronave en el espacio. Lo anterior, permite que se realicen vuelos autónomos, donde por medio de puntos con coordenadas X y Y establecidos por el piloto, se realice recorridos precisos en áreas determinadas, generando así una misión de vuelo. En la actualidad, existen muchas aplicaciones y softwares especializados para realizar las misiones de vuelo y el debido procesamiento de fotografías aéreas para generar los resultados esperados dependiendo de los objetivos del proyecto que se esté trabajando.

2.1.5.2. Planeación de la misión de vuelo con RPA

Para realizar un vuelo con un RPA para obtener las fotografías necesarias, hay que tener en cuenta ciertos parámetros para que los resultados sean los esperados. Al utilizar una aplicación o un software para realizar una misión, por lo general hay que tener en cuenta lo siguiente: (1) el área de interés, que se delimitará mediante un polígono sobre un mapa de Google. (2) La altura de vuelo, la cual determinará la resolución (que es el tamaño final de cada pixel en el ortomosaicos y DSM) del producto final. (3) La orientación del vuelo, ya que es importante tener en cuenta cuando se realizan vuelos en terrenos montañosos. (4) El porcentaje de traslape frontal y lateral, que varía entre el 60-85% dependiendo del tipo de cobertura, ya que si es muy homogénea puede que el software

de procesamiento de las imágenes no logre unir las imágenes. (5) La velocidad de desplazamiento del RPA, que puede causar que las imágenes salgan borrosas si la intensidad de luz solar es baja. Finalmente, (6) los ajustes de la cámara que se está utilizando en el vuelo, para que las fotografías no queden ni sobreexpuestas o muy oscuras. Es recomendado volar en días nublado, ya que los objetos dentro del área de interés no generarán sombras y la luz es más uniforme.

2.1.5.3. Generación de ortomosaicos y modelos de digital de terreno

El objetivo principal en el procesamiento de las fotografías aéreas con RPA, es generar modelos 3D, ortomosaicos y Modelos Digitales de Superficies (DSM) (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014). Un ortomosaico hace referencia al conjunto de fotografías que son unidas y combinadas entre sí para generar una sola imagen ráster con información georreferenciada y ortorrectificada, y que es calibrada para corregir los errores que se puedan dar por la posición de la cámara al tomar las fotografías (Escalante, Cáceres, & Porras, 2016). Un DSM “representa la información de la elevación de todos los elementos registrados en la escena (Rumpler, Wendel, & Bischof, 2013). Sin importar el software que se utilice para procesar las imágenes, por lo general, el procedimiento consta de 4 etapas principales:

(1) Orientación de fotos. En esta etapa el software extrae y correlaciona los puntos comunes entre las fotografías. Esto permite la orientación entre las fotografías y las áreas comunes del área de estudio. Así mismo, encuentra la posición de la cámara para cada imagen y refina los parámetros de calibración. Como resultado, se forman una nube de puntos dispersos y un conjunto de posiciones de cámara. (2) La siguiente etapa es generar una nube de puntos densos, que se construye con el software basándose en las posiciones de la cámara y las imágenes estimadas. Aquí se determina las coordenadas del terreno de cada uno de los puntos extraídos de las imágenes para luego, establecer las coordenadas de terreno para cada uno de los píxeles de las imágenes. (3) La tercera etapa es la generación de una superficie: malla y/o DSM. El modelo de malla representa la superficie del objeto según la nube de puntos densos o dispersos. (4) Después de reconstruir la superficie, se puede texturizar (relevante solo para el modelo de malla) o se puede generar un ortomosaico.

(Agisoft PhotoScan, 2018, pág. V) & (Escalante, Cáceres, & Porras, 2016).

2.2. Antecedentes

En Colombia, las poblaciones de *C. quindiuense* que se ubican sobre las dos vertientes de la Cordillera Central han sido las más estudiadas. En el 2005, Galeano & Bernal, publican el libro rojo de palmas de Colombia, en el cual argumentan que las poblaciones de palma están compuestas, en su mayoría, por “individuos adultos aislados que son incapaces de reproducirse en zonas abiertas y con pastoreo de ganado”, además de que se han reducido en casi un 50% en los últimos 220 años y por esta razón se categoriza como En Peligro.

Como se puede ver en la Tabla 1. los estudios realizados por Girón (1999) y Jiménez (2017) demuestran que en los palmares de *C. quindiuense* en mejor estado, de Colombia, se encuentran en el corregimiento de Toche, departamento del Tolima. Si bien se estima que la mayor concentración de palmas tiene una extensión de 4500 ha en relictos de

bosque con distintos grado de intervención, los palmares se encuentran dentro de una matriz de potreros, que con el paso del tiempo esta matriz podría hacerse más grande si no hay un control sobre las diferentes actividades agropecuarias en la zona (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Bernal & Sanín (2013) estudiaron las poblaciones de *C. quindiuense* en el Valle del Cocora. Concluyeron que “(...) la causa principal de amenaza en los sitios donde la sociedad habitualmente se aproxima a estas palmas es la falta de regeneración de los palmares que sobreviven en potreros”. Lo anterior, se debe a que las plántulas no toleran la radiación solar, por lo que solo crecen bajo la cobertura de los bosques (Bernal & Sanín, 2013). En el plan de conservación y uso sostenible de la Palma de Cera del Quindío (PCPCQ), los autores hacen un acercamiento del estado de las poblaciones de la palma que se encuentran en la Cordillera Central. Aquí, dan evidencia de los lugares en donde la palma se distribuye en la cordillera y hacen un acercamiento del número de individuos adultos que pueda haber en los bosques y potreros de los palmares estudiados. Este acercamiento lo hacen mediante observaciones en campo, fotografías y diferentes estudios que se han realizado.

Lugar	Densidad ind. adultos/ha O ind. totales estimados	Área bosques y/o densidad ind. adultos/ha En bosques	Área potreros y/o densidad ind. adultos/ha en potreros	Cita
Toche-La Ceja, Tolima	590 palmas/ha	900 ha; 590 ind./ha	1200 ha; 60 ind./ha	(Girón, 1999)
Microcuenca del río Tohecito, Tolima	159 ind./ha	198 ind./ha	20 ind./ha	(Jiménez, 2017)
Valle del Cocora, Salento, Quindío	~2000 ind.	~240 ha.; 1000 ind. adultos	~360 ha; 1000 ind. adultos	(Bernal & Sanín, 2013)
Anaime, Tolima	~10000 ind.	1155 ha; N.I. ind./ha	6545 ha; N.I. ind./ha	(Etter, Andrade, & Uribe, 1991) &
La Samaria-San Félix, Salamina, Caldas	~1000 ind.	N.I.	N.I.	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Tenerife, Valle del Cauca	~200~500 ind.	13 ha; N.I.	N.I.	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Altiplano norte, Antioquia	~2000 ind.	N.I.	N.I.	Colorado y colaboradores (2006) y (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Vereda El Tablón en San Juanito, Meta	100 ind/ha	N.I.	N.I	(Rodríguez & Santamaria, 2016)

Tabla 1. Estudios realizados de *C. quindiuense* en Colombia. Se muestra la densidad de individuos (ind.) por hectárea (ha) o el total de individuos, El área de coberturas de bosques y potrero y/o su respectiva densidad y los autores que estudiaron la especie en cada área. El símbolo (~) representa los valores sospechados dados por los investigadores. N.I. implica que no existe información.

En el 2016 se realizaron recorridos exploratorios en áreas de amortiguación del PNNC. Se encontró que en el municipio de San Juanito (municipality of San Juanito) hay presencia

de dos palmares de tamaños considerables. En este mismo año Rodríguez & Santamaria hicieron un estudio en la vereda El Tablón, dentro del municipality of San Juanito, que buscaba describir cómo fueron las prácticas extractivas por primera vez en la cordillera oriental y el efecto en las poblaciones de *C. quindiuense* y *C. vogelianum*. Encontraron que en el municipality of San Juanito la extracción de la palma no tuvo un carácter comercial y se determinaron que la población de *C. quindiuense* está en crecimiento, debido a que tiene una pirámide poblacional de base ancha. Sin embargo, no es muy claro el área total donde podría estar palma en el municipality of San Juanito, además que se conoce que existe un palmar de un tamaño mucho mayor en la vereda vecina, la cual no fue tomada en cuenta. Es importante, ahora que se conoce que existe grandes palmares sobre la Cordillera Oriental, y más aún que están dentro de la zona de influencia del PNNC, demostrar que hacen parte importante para la conservación de la especie, y por lo tanto que se tienen que tener en cuenta a la hora de delimitar áreas de protección para la especie. El estudio de estos palmares entraría a ser parte del plan de conservación y uso sostenible de la Palma de Cera del Quindío (PCPCQ), que pretende que para el 2025 “la Palma de cera del Quindío esté en el imaginario colectivo de los colombianos, sus bosques estén debidamente conservados y adecuadamente interconectados, los palmares de los potreros estén bajo programas de renovación y que se establezcan áreas protegidas que conserven la palma”.

Descripción del área de estudio

El municipio de San Juanito se encuentra al noroccidente del departamento del Meta, en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. Abarca ecosistemas de bosque andino, bosque alto andino y páramo. Tiene una elevación que varía entre los 1200 hasta los 3600 msnm, con una temperatura anual promedio de 18°C. Comprende un área aproximada de 240 km², donde gran parte del terreno municipal, hace parte del Parque Nacional Natural Chingaza (Gobernación del Meta, 2016). El Municipio de San Juanito es atravesado por la cuenca de río Guatiquía, que nace en el Páramo de Chingaza, hasta desembocar en el río Meta. Cuenta con una población aproximada de 2.170 habitantes. La economía del municipio está basada en la agricultura, la ganadería, los criaderos de trucha y fabricación tradicional de productos derivados de lácteos y panela (Alcaldía de San Juanito - Meta, 2013). Los productos de mayor importancia en el sector agrícola son el frijol (principalmente), la caña panelera, el sagú, el lulo, la mora, tomate de árbol y el maíz. El sector ganadero comercializa bovinos, equinos, ovinos y porcinos.

San Juanito ha sido un municipio fuertemente golpeado por el conflicto armado. Sus territorios estuvieron en las manos de las Fuerzas Armadas Revolucionarias Colombia (FARC) hasta septiembre del 1997, cuando el ejército logra quitarles el control de territorio, siendo una victoria para El Estado colombiano, ya que era el frente que más cerca se encontraba a la capital del país.

Los palmares se encuentran en las veredas San Luis de Toledo y El Tablón, en el Municipio de San Juanito, al norte del Departamento del Meta (Ver **Figura 1**). El 83% de individuos localizados mediante ortomosaicos (ver sección 6.2.) se encuentran sobre áreas de amortiguación del Parque Nacional Natural Chingaza, el resto se encuentran dentro de este

parque. El área de estudio del palmar ubicado en la vereda San Luis de Toledo al norte del municipio, en los límites con Junín y Gachalá (Cundinamarca) tiene aproximadamente 1200 hectáreas, con una elevación entre los 2070 y los 2800msnm. El área estudiada en la vereda el Tablón, ubicada al nororiente del municipio, y que colinda con los Farallones de Medina, tiene 380 hectáreas aproximadamente, con una elevación entre los 2050 a los 2600 msnm. Estos palmares tienen individuos en los siguientes tipos de coberturas: potreros, bosques maduro y bosques intervenidos.

Referencias bibliográficas del Marco referencial

- Agisoft PhotoScan. (2018). *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4*. Obtenido de https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf
- Agisoft PhotoScan Professional. (2018). *Agisoft*. Obtenido de Retrieved from <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>
- Alcaldía de San Juanito - Meta. (10 de Septiembre de 2013). *Sitio oficial de San Juanito en Meta, Colombia*. Recuperado el 2018, de http://www.sanjuanito-meta.gov.co/informacion_general.shtml
- Álvarez, J. C., Ocampo, M., & Molina, J. (2013). Dinámica poblacional de *Ceroxylon quindiuense* (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) a partir de matrices de Leslie como herramienta de conservación. Salento, Colombia. *Rev. Biodivers. Neotrop.*, 42-52.
- Amaya, J. D., Gómez, M. F., Amaya, A. M., Velásquez, J., & Renjifo, L. M. (2011). *Guía metodológica para el análisis de riesgo de extinción de especies en Colombia*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Pontificia Universidad Javeriana.
- Bernal, R., & Sanín, M. J. (2013). LOS PALMARES DE *Ceroxylon quindiuense* (Arecaceae) EN EL VALLE DE COCORA, QUINDÍO: PERSPECTIVAS DE UN ÍCONO ESCÉNICO DE COLOMBIA. *Colombia Forestal*, 16(1), 16(1): 67-79.
- Bone, E., & Bolkkcom, C. (2003). Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress. *Congressional Research Service: The Library of Congress*.
- Borchsenious, F., & Moraes, M. (2006). DIVERSIDAD Y USOS DE PALMERAS ANDINAS (Arecaceae). *Universidad Mayor de San Andrés*, 412-433.
- Carabias, J., Meave, J., Valverde, T., & Cano, Z. (2009). Ecología y medio ambiente en el siglo XXI. MÉXICO: PEARSON EDUCACIÓN.
- Cardozo, G., & Guzmán, R. (1993). Estudio fitosanitario de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) zona de Cocora, Departamento del Quindío-Colombia. *Universidad del Tolima*.
- Ceballos, G. (2010). The sixth extinction crisis: loss of animal population and species. *Journal of Cosmology* 8, 1.821-1.831.

- Colciencias. (11 de Septiembre de 2016). *Colciencias*. Obtenido de http://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo
- Cruzan, M. B., Weinstein, B. G., Grasty, M. R., & Kohn, B. F. (2016). Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Applications in Plant Sciences*.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático*. Quito: Serie Investigación y Sistematización # 5. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION.
- DroneDeploy. (09 de 2018). *DroneDeploy [movilApp]*. Obtenido de <https://www.dronedeploy.com/>
- Eiserhardt, W. L., Svenning, J.-C., Kissling, W. D., & Balslev, H. (2011). Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. *Annals of Botany*, 1391-1416.
- Eiserhardt, W., Svenning, J., Kissling, D., & Balslev, H. (2011). Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. *Annals of Botany* 108, 1391–1416.
- Escalante, J., Cáceres, J., & Porras, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 119-140.
- ESRI. (2018). *ArcGIS Desktop*. Obtenido de Retrieved form: <http://desktop.arcgis.com/es/>
- ESRI. (27 de 03 de 2019). <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-point-density-works.htm>. Obtenido de ArcGis: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-point-density-works.htm>
- Etter, A., Andrade, A., & Uribe, F. (1991). *Diagnóstico del estado actual del Árbol Nacional de Colombia, la palma de cera (Ceroxylon quindiuense) en el departamento del Tolima con fines conservacionistas*. Salento: Fundación Herencia Verde.
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). *Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. Obtenido de International Journal of Climatology: <http://worldclim.org/version2>
- Fundación ProAves. (2007). Proyecto Loro Orejiamarillo: una iniciativa de conservación.
- Galeano, G., & Bernal, R. (2005). *Lista roja de palmas en Colombia*. Bogotá.
- Girón, M. (1999). Programa de Investigación en los bosques de palma de cera *Ceroxylon quindiuense* y *Ceroxylon alpinum* en las regiones de Cocora (Quindío) y Alto Toche (Tolima). *Universidad del Quindío*.
- Gobernación del Meta. (2016). *Contigo generamos oportunidades*. San Juanito: El Meta, tierra de oportunidades.

- Govaerts, R., & Dransfield, J. (2005). World checklist of palms. *Royal Botanic Gardens*.
- IDEAM. (2001). Ecosistemas. En IDEAM, *El medio ambiente en Colombia* (págs. 278-347). Bogotá: IDEAM.
- IUCN. (2010). *IUCN Red List of threatened Species*. Recuperado el 02 de 02 de 2019, de <http://www.iucnredlist.org>
- IUCN. (2012). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición*. Gland, Suiza; Cambridge, Reino Unido.
- IUCN. (2012a). *Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition*. . Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iv + 32pp.
- IUCN. (2012b). *Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. III + 41PP.
- Jiménez, I. (2017). *Estado actual de conservación de la población de Ceroxylon quindiuense (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) en la microcuenca del río Tohecito, Tolima*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Josse et al., C. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDCUNALM, RUMBOL SR.
- Madrriñan, S., & Schultes, R. (1995). COLOMBIA'S NATIONAL TREE: THE WAX PALM *Ceroxylon quindiuense* AND ITS RELATIVES. *Elaeis*, 35-56.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *PLAN DE CONSERVACIÓN, MANEJO Y USO SOSTENIBLE DE LA PALMA DE CERA DEL QUINDÍO CEROXYLON QUINDIUENSE), ÁRBOL NACIONAL DE COLOMBIA*. (B. R, G. Galeano, & M. J. Sanín., Edits.) Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Universidad Nacional de Colombia.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 853-858.
- Phillips, S. j., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 231-259.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (28 de 3 de 2019). *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)*. Obtenido de Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 231-259.
- Primack, R. (2012). *A Primer of Conservation Biology*. Boston: Sunderland, Sinauer Associates, Inc Publishers, Boston University.

- Quintero, E., Benavides, A. M., Moreno, N., & Gonzalez, S. (2017). *Bosques Andinos: Estado actual y retos para su conservación en Antioquia*. Medellín, Antioquia: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe-Programa Bosques Andinos (COSUDE).
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicada a la Ingeniería Civil*. Cáceres, España: Universidad de Extremadura.
- Rodríguez, E., & Santamaria, D. (2016). *ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO DE LA EXTRACCIÓN DE DOS ESPECIES DE PALMA DE CERA (Ceroxylon spp.) EN LA ZONA DE AMORTIGUACIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CHINGAZA*. Bogotá, D.C.: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Bogotá, Colombia. 154p: Instituto de Investigación de Recursos Viológicos Alexander von Humboldt.
- Rumpler, M., Wendel, A., & Bischof, H. (2013). Probabilistic Range Image Integration for DSM and True-Orthophoto Generation. *Image Analysis*, 533–544.
- Sanín, M. J., & Galeano, G. (2011). A revision of the Andean wax palms, *Ceroxylon* (Arecaceae). *Magnolia Press*, 64.
- Sanín, M. J., Anthelme, F., Pintaud, J.-C., Gloria, G., & Bernal, R. (2013). *Juvenile Resilience and Adult Longevity Explain Residual Populations of the Andean Wax Palm Ceroxylon quindiuense after Deforestation*. PLoS ONE.
- Soulé, M. (1985). What is Conservation Biology? *University of California-American Institute of Biological Sciences*, 727-734.
- UICN. (2012). *DIRECTRICES PARA EL USO DE LOS CRITERIOS DE LA LISTA ROJA DE LA UICN A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL* (Vol. 4.0). Gland, Suiza; Cambridge, Reino Unido.
- Wolf, P., Dewitt, B., & Wilkinson, B. (2014). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Fourth Edition. En *Introduction, Chapter*. McGraw-Hill Professional.

3. Anexos de documentos relevantes para la investigación

3.1. Características de las misiones de vuelo del RPA e informes de procesamientos de fotografías tomadas con el RPA

3.1.1. Ortomosaico, vereda El Tablón

Informe de procesamiento, 17 marzo 2019

Datos del levantamiento

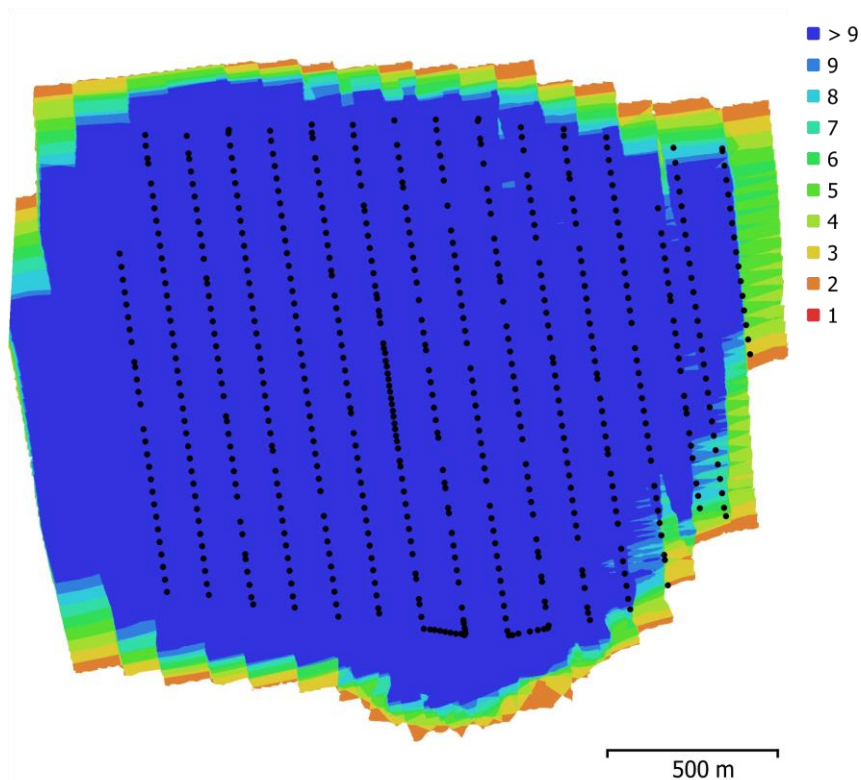


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 598

Altitud media de vuelo: 390 m

Resolución en terreno: 8.96 cm/pix

Superficie cubierta: 3.74 km²

Posiciones de cámara: 582

Puntos de enlace: 74,440

Proyecciones: 238,569

Error de reproyección: 5.36 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
------------------	------------	-----------------	-----------------	--------------

FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No
----------------	-------------	--------	--------------------	----

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

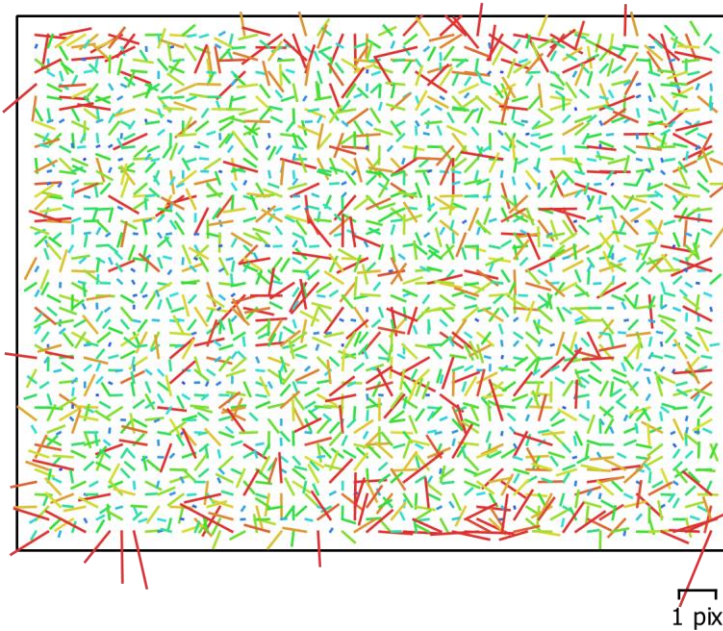


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

598 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4136.27	29	1.00	0.78	-0.16	0.06	-0.10	0.14	0.11	-0.24
Cx	10.7487	1		1.00	-0.13	0.05	-0.09	0.12	0.53	-0.19
Cy	19.899	0.61			1.00	-0.01	0.01	-0.02	-0.03	0.77

K1	0.00130201	0.00096				1.00	-0.96	0.91	0.03	-0.01
K2	-0.0157654	0.0045					1.00	-0.98	-0.03	0.02
K3	0.0212963	0.0064						1.00	0.03	-0.04
P1	0.000764614	5.3e-05							1.00	-0.03
P2	-0.00164296	5.2e-05								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

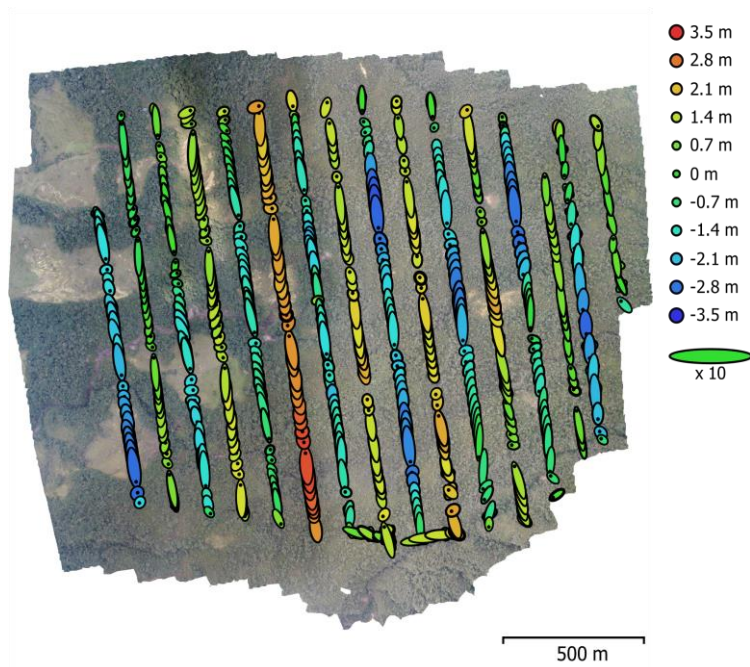


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
1.29493	5.46864	1.57487	5.61986	5.83636

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

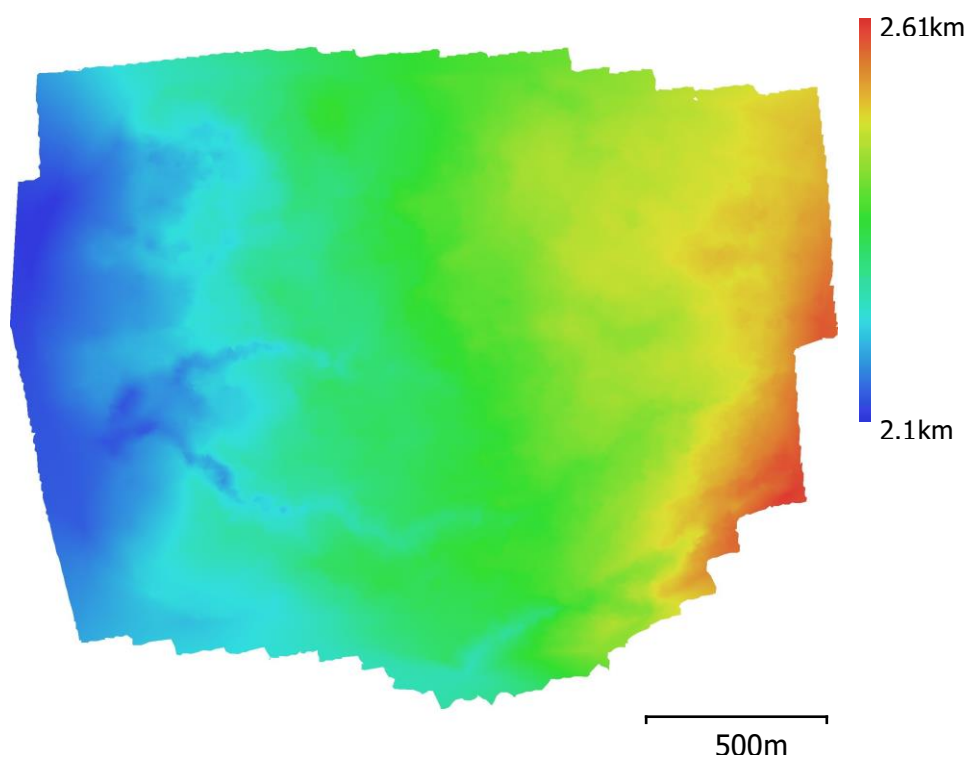


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 5.88 m/pix

Densidad de puntos: 0.0289 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	598
Cámaras orientadas	582
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo,
Nube de puntos	alabeo
Puntos	74,440 de 85,169
RMS error de reproyección	0.192314 (5.36164 pix)
Error de reproyección máximo	0.582559 (95.2183 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	26.2426 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.77549
Parámetros de orientación	
Precisión	Mínima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	10,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	1 minuto 43 segundos
Tiempo de orientación	7 minutos 53 segundos
Mapas de profundidad	
Número	581
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Mínima
Nivel de filtrado	Moderado
Duración del procesamiento	2 minutos 34 segundos
Nube de puntos densa	
Puntos	2,746,380
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Mínima
Filtrado de profundidad	Moderado
Tiempo de generación de mapas de profundidad	2 minutos 34 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	5 minutos 24 segundos
Modelo	
Caras	27,581
Vértices	14,079
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Dispersa
Interpolación	Habilitada
Número de caras	30,000
Duración del procesamiento	3 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	25,554 x 22,250
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Malla
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	25 minutos 29 segundos

Software

Versión

1.4.3 build

6529

Plataforma

Windows 64

3.1.2. Ortomosaico, vereda San Luis de Toledo
 Informe de procesamiento, 17 marzo 2019

Datos del levantamiento

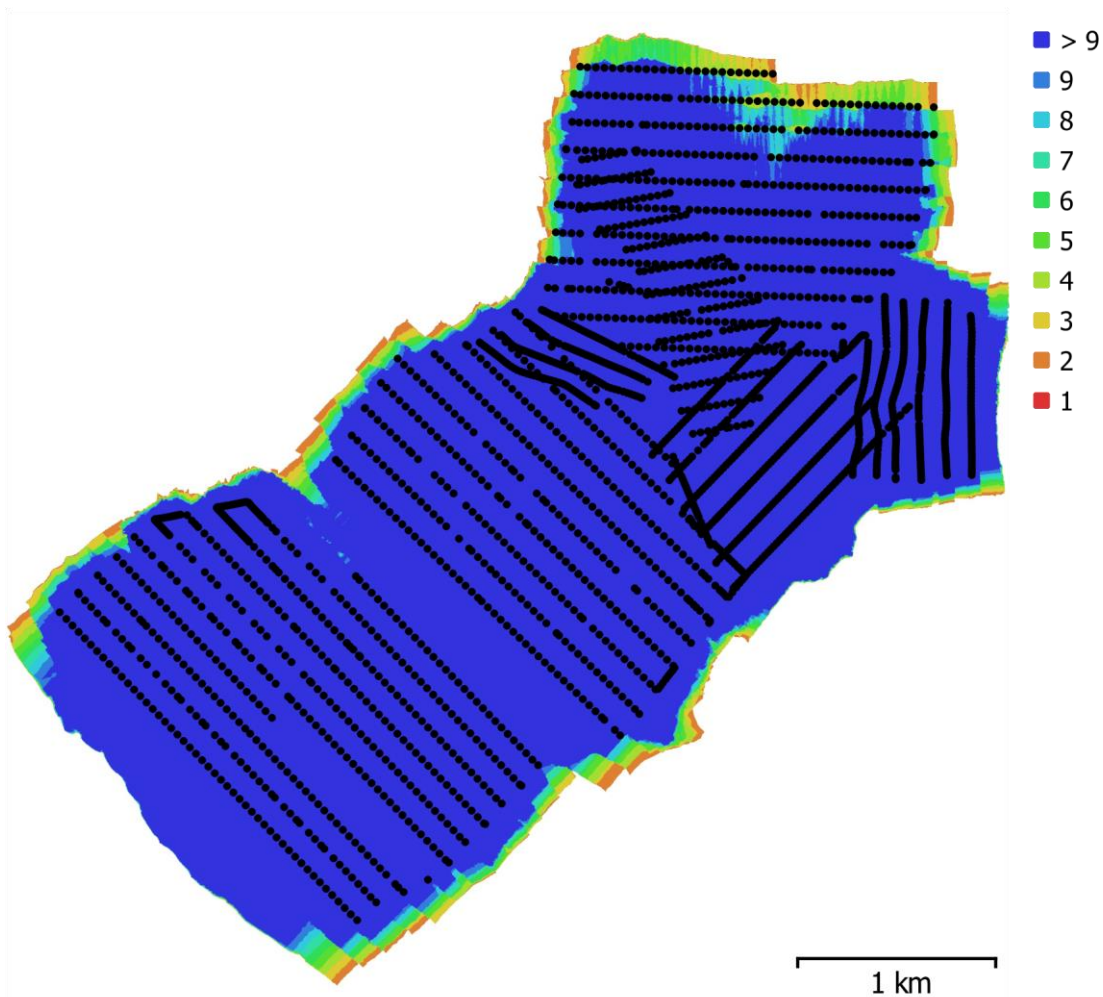


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 2,409
 Altitud media de vuelo: 411 m
 Resolución en terreno: 10.5 cm/pix
 Superficie cubierta: 12.2 km²

Posiciones de cámara: 2,405
 Puntos de enlace: 4,190,408
 Proyecciones: 15,911,284
 Error de reproyección: 1.21 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

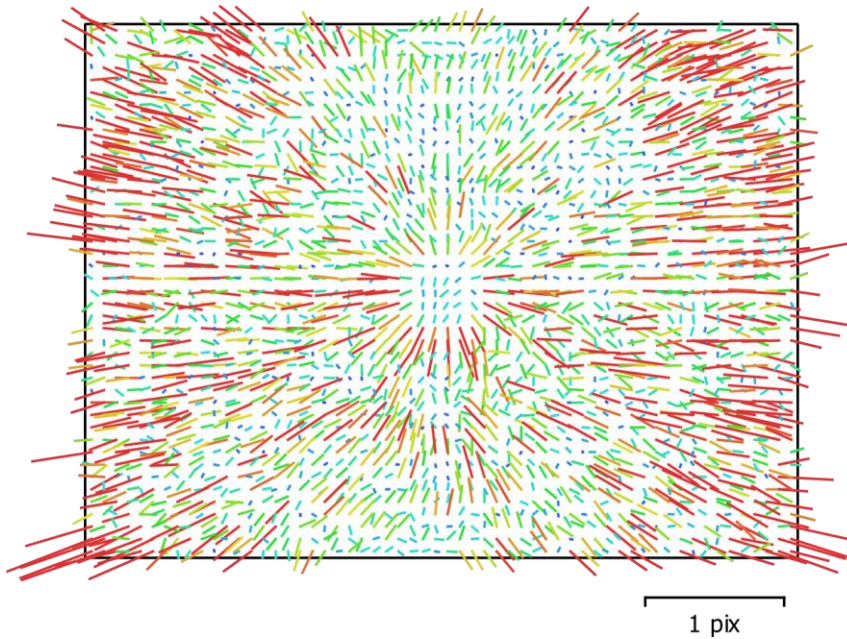


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

2409 imágenes

Tipo Cuadro Resolución 4864 x 3648 Distancia focal 8.8 mm Tamaño de píxel 2.61 x 2.61 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3640.16	0.66	1.00	0.77	- 0.00	- 0.05	- 0.15	0.27	0.1 2	- 0.28
Cx	-2.56461	0.017		1.00	0.01	- 0.03	- 0.12	0.21	0.5 1	- 0.22
Cy	13.1297	0.01			1.00	- 0.00	0.00	- 0.00	- 0.0 0	0.67
K1	-0.00134861	1.5e- 05				1.00	- 0.87	0.79	0.0 3	0.01
K2	-0.00950762	4.5e- 05					1.00	- 0.98	- 0.0 2	0.04
K3	0.0111383	4.5e- 05						1.00	0.0 4	- 0.08

P1	0.000586981	8.8e-07							1.0	-
P2	-0.00140301	9.7e-07							0	0.04
										1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

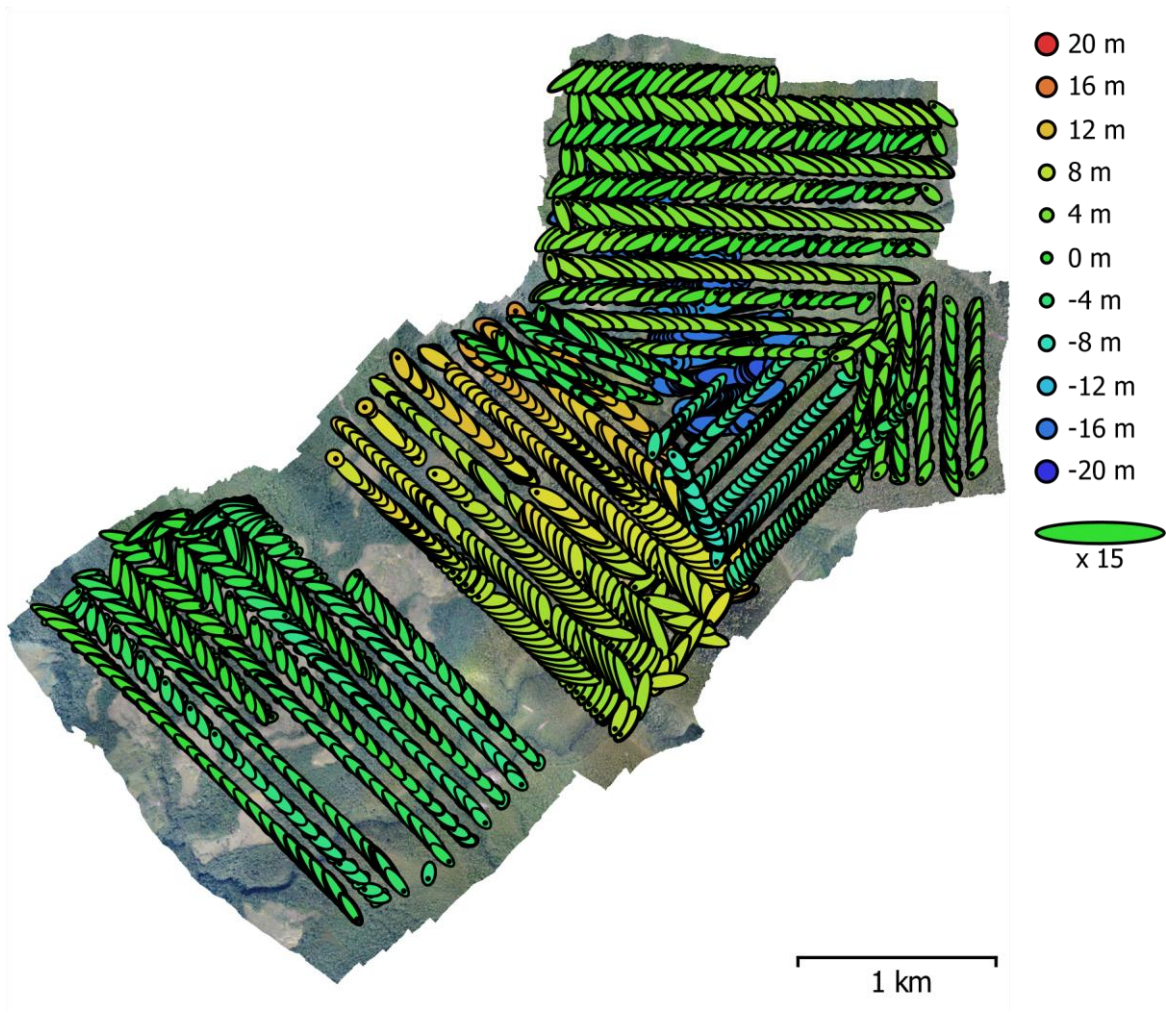


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
5.21273	5.38467	6.5114	7.49448	9.92802

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

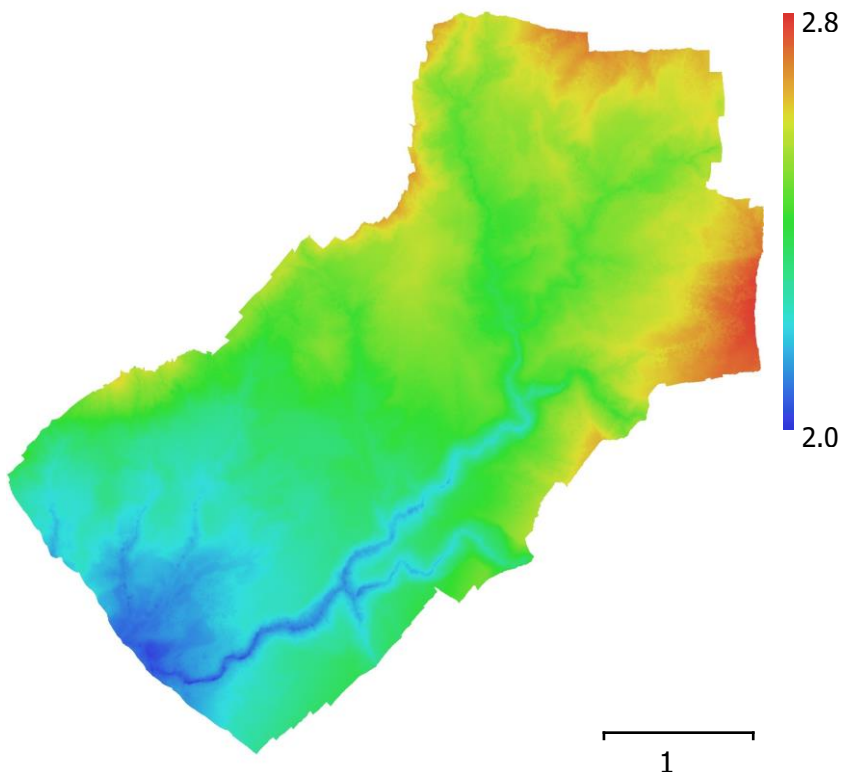


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 41.8 cm/pix

Densidad de puntos: 5.72 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras 2409

Cámaras orientadas 2405

Formas

Polilíneas 3612

Polígonos 175572

Sistema de coordenadas WGS 84 (EPSG::4326)

Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo,
Nube de puntos	alabeo
Puntos	4,190,408 de 4,590,872
RMS error de reproyección	0.125725 (1.2086 pix)
Error de reproyección máximo	0.382763 (58.5166 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	7.87286 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.75362
Parámetros de orientación	
Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	10,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	1 hora 18 minutos
Tiempo de orientación	2 horas 7 minutos
Mapas de profundidad	
Número	2405
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Duración del procesamiento	3 horas 15 minutos
Nube de puntos densa	
Puntos	144,197,582
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	3 horas 15 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	1 día 5 horas
Modelo	
Caras	268,828
Vértices	135,843
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Dispersa
Interpolación	Habilitada
Número de caras	279,360
Duración del procesamiento	53 segundos
DEM	
Tamaño	17,458 x 16,211
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Nube de puntos densa

Interpolación

Duración del procesamiento
Ortomosaico
Tamaño
Sistema de coordenadas
Colores
Parámetros de reconstrucción
Modo de mezcla
Superficie
Realizar el relleno de agujeros
Duración del procesamiento
Software
Versión
Plataforma

Habilitada

4 minutos 33
segundos
48,505 x 45,950
WGS 84 (EPSG::4326)
3 bandas, uint8

Mosaico
Malla
Sí
1 hora 17 minutos

1.4.3 build 6529
Windows 64

3.2. Tabla de correlación de variables ambientales

Los valores resaltados que se muestra en la tabla (dividida en dos), indican que las variables respectivas se encuentran correlacionadas. Las variables con letras de color rojo fueron descartadas.

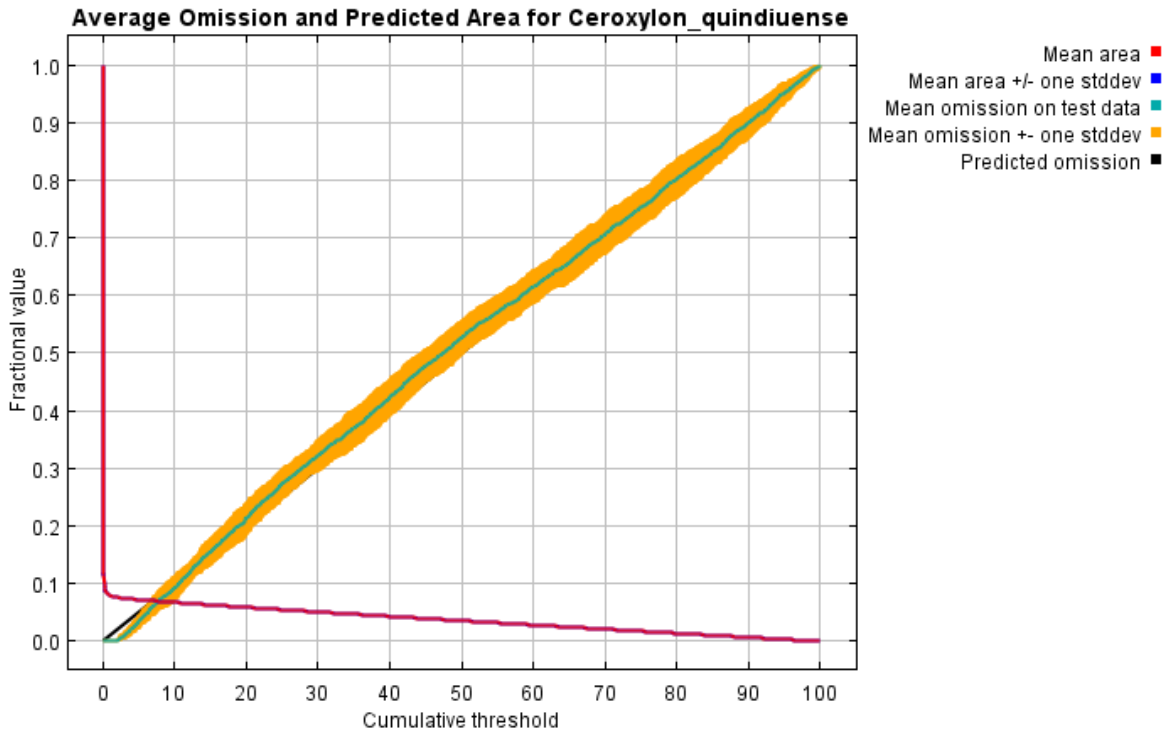
	SLP	DEM	PCQ	MTWaQ	MTCQ	AP	PWM	PDM	PS	PWeQ
SLP	1									
DEM	0.71418	1								
PCQ	-0.59732	-0.79411	1							
MTWaQ	-0.03391	-0.04688	0.03749	1						
MTCQ	-0.03024	-0.0429	0.03404	0.99966	1					
AP	-0.58088	-0.7911	0.88699	0.03629	0.03378	1				
PWM	-0.56102	-0.74323	0.93452	0.03472	0.03175	0.91297	1			
PDM	0.08098	0.05868	-0.03791	0.98347	0.98451	-0.00186	-0.01925	1		
PS	-0.02187	-0.01871	0.02454	0.99852	0.99886	0.01045	0.02044	0.98188	1	
PWeQ	-0.60261	-0.79446	0.94905	0.03688	0.03382	0.95874	0.96426	-0.0215	0.01947	1
PDQ	0.29589	0.09012	0.05276	-0.00599	-0.00334	0.32501	0.1817	0.13309	-0.0298	0.1712
PWaQ	0.67	0.59858	-0.40581	-0.02958	-0.02537	-0.25208	-0.30475	0.12408	-0.02878	-0.33075
AMT	-0.03179	-0.04448	0.03555	0.99999	0.99967	0.0349	0.03311	0.98391	0.99853	0.0352
MDR	-0.49339	-0.47484	0.39542	0.02219	0.02012	0.42945	0.37992	-0.04909	0.0129	0.42918
ISO	0.01637	0.01699	-0.01519	0.99776	0.99774	-0.0098	-0.01229	0.98996	0.99758	-0.01255
TS	-0.10664	-0.11989	0.10264	0.99411	0.99324	0.07475	0.08625	0.96138	0.99269	0.08859
MTWN	-0.03366	-0.04602	0.03698	0.99999	0.99966	0.03576	0.03424	0.9835	0.99855	0.03635
MTWM	-0.03028	-0.04349	0.03432	0.99998	0.99967	0.03424	0.03213	0.98423	0.9985	0.03426
TAR	-0.00665	-0.00673	0.00601	0.99918	0.999	0.0047	0.00528	0.98664	0.9989	0.00539
MTWeQ	-0.03099	-0.04366	0.03433	0.99998	0.99967	0.03449	0.03229	0.98412	0.99851	0.03452
MTDQ	-0.03372	-0.0466	0.0374	0.99999	0.99966	0.03633	0.03467	0.98354	0.99851	0.03683

	PDQ	PWaQ	AMT	MDR	ISO	TS	MTWM	MTCM	TAR	MTWeQ	MTDQ
PDQ	1										
PWaQ	0.6713	1									
AMT	-0.0044	-0.02709	1								
MDR	-0.15404	-0.45907	0.02124	1							
ISO	0.01356	0.0194	0.99795	-0.00622	1						
TS	-0.07201	-0.12164	0.99379	0.05757	0.9857	1					
MTWM	-0.00602	-0.02948	0.99999	0.02293	0.99781	0.99406	1				
MTCM	-0.00298	-0.02511	0.99999	0.01917	0.99803	0.99355	0.99998	1			
TAR	-0.00384	-0.00728	0.99927	0.00538	0.99949	0.9905	0.99922	0.99929	1		
MTWeQ	-0.00342	-0.02579	0.99999	0.02069	0.99802	0.99359	0.99998	0.99999	0.99929	1	
MTDQ	-0.00547	-0.02932	0.99999	0.02227	0.99779	0.99406	0.99999	0.99998	0.99919	0.99998	1

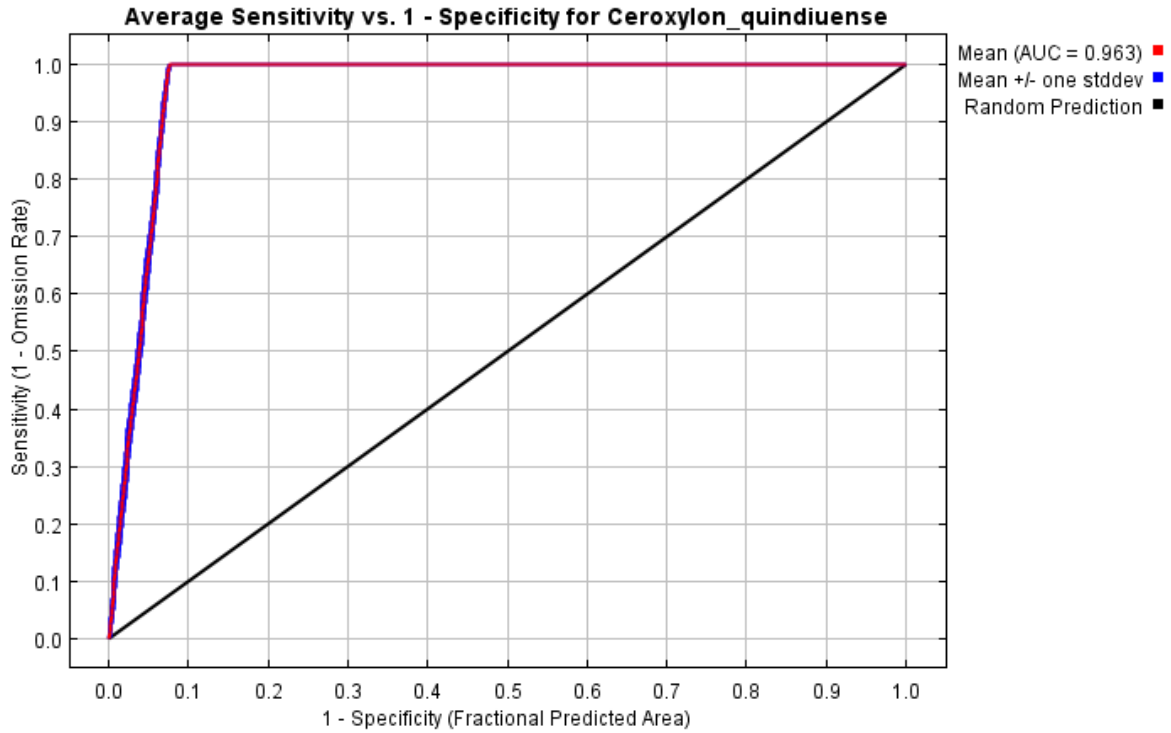
3.3. Archivo de salida de Maxent para el modelo de distribución de *C. quindiuense*.

3.3.1. Analysis of omission/commission

The following picture shows the test omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold, averaged over the replicate runs. The omission rate should be close to the predicted omission, because of the definition of the cumulative threshold.

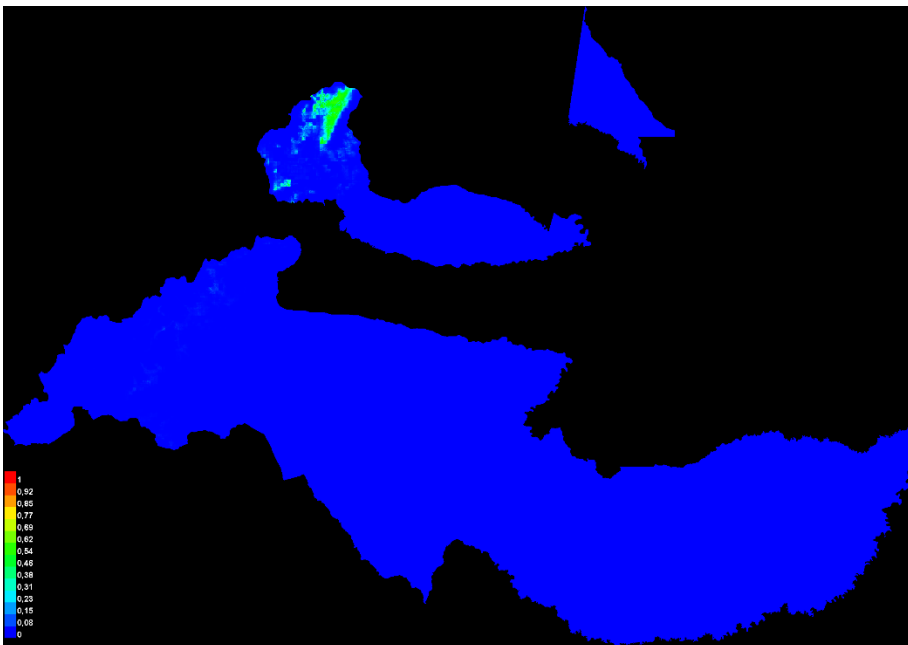


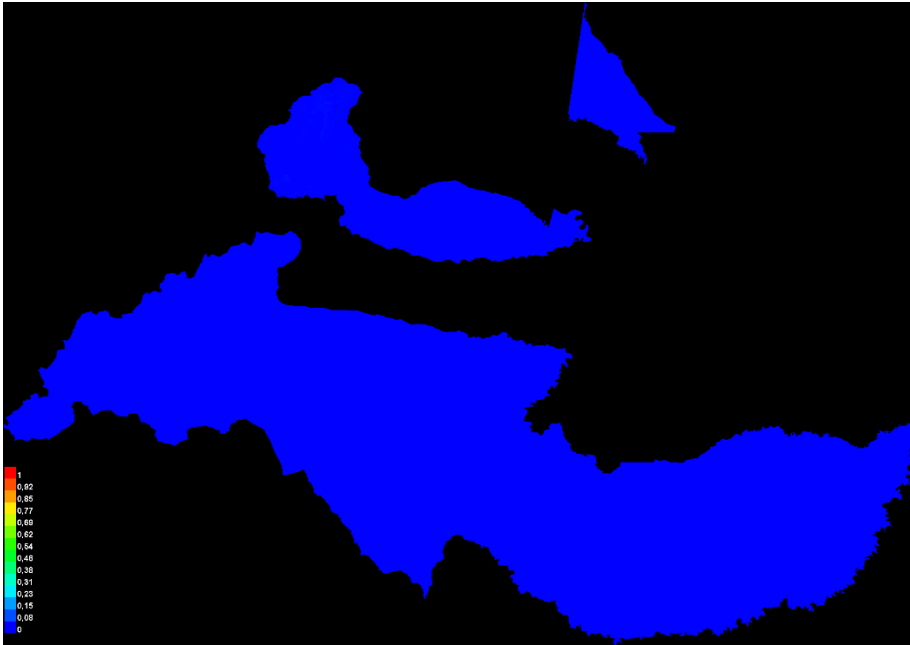
The next picture is the receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data, again averaged over the replicate runs. Note that the specificity is defined using predicted area, rather than true commission (see the paper by Phillips, Anderson and Schapire cited on the help page for discussion of what this means). The average test AUC for the replicate runs is 0.963, and the standard deviation is 0.001.



3.3.2. Pictures of the model

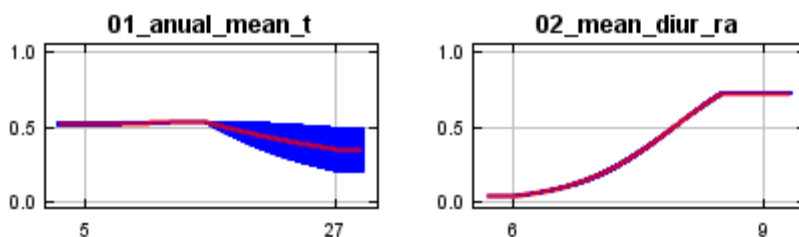
The following two pictures show the point-wise mean and standard deviation of the 15 output grids. Other available summary grids are [min](#), [max](#) and [median](#).

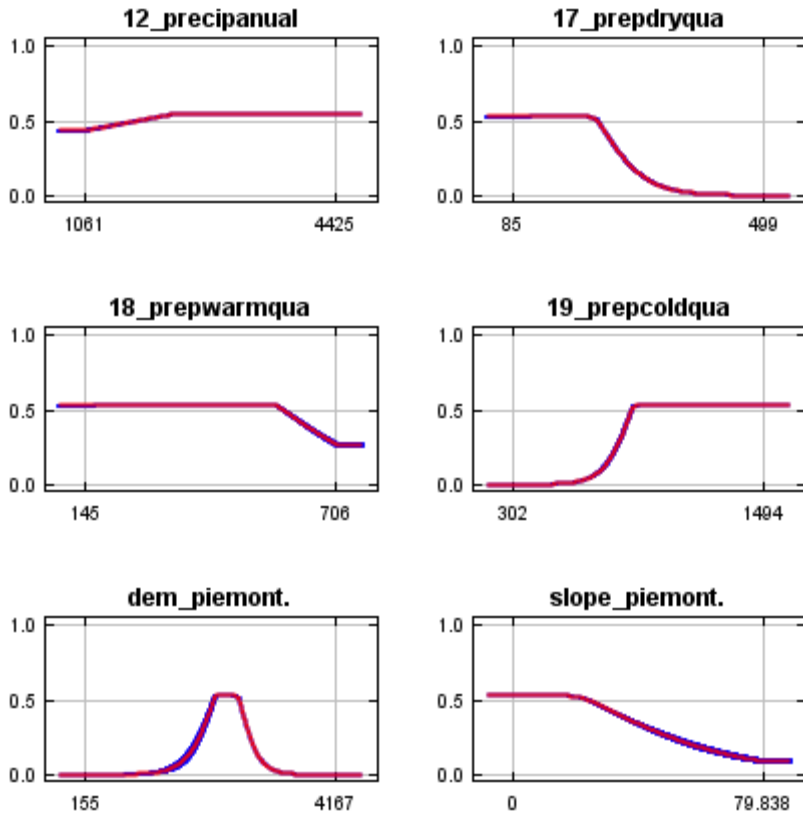




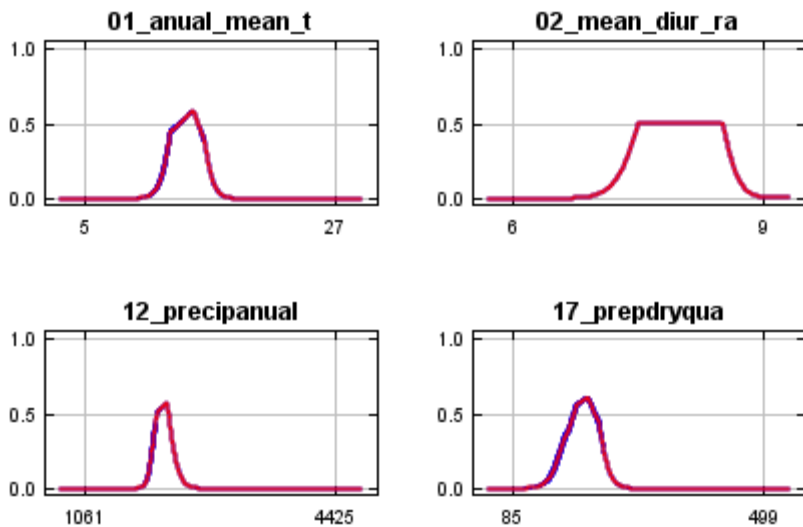
3.3.3. Response curves

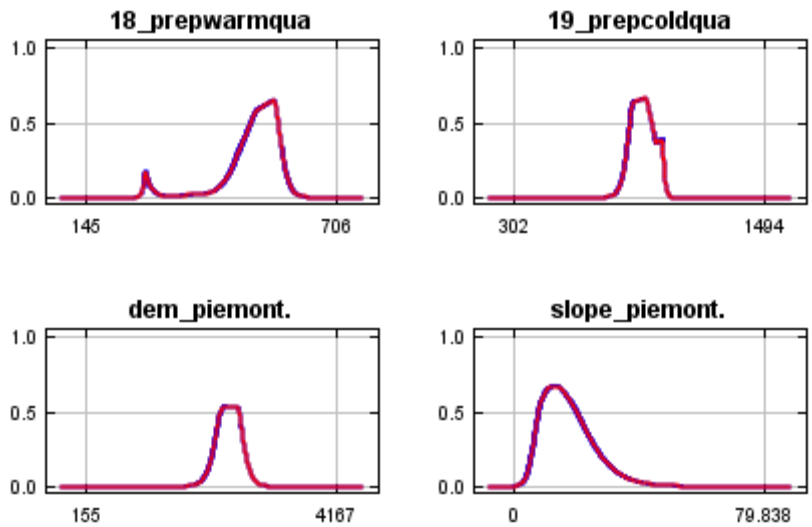
These curves show how each environmental variable affects the Maxent prediction. The curves show how the predicted probability of presence changes as each environmental variable is varied, keeping all other environmental variables at their average sample value. Click on a response curve to see a larger version. Note that the curves can be hard to interpret if you have strongly correlated variables, as the model may depend on the correlations in ways that are not evident in the curves. In other words, the curves show the marginal effect of changing exactly one variable, whereas the model may take advantage of sets of variables changing together. The curves show the mean response of the 15 replicate Maxent runs (red) and the mean \pm one standard deviation (blue, two shades for categorical variables).





In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.





3.3.4. Analysis of variable contributions

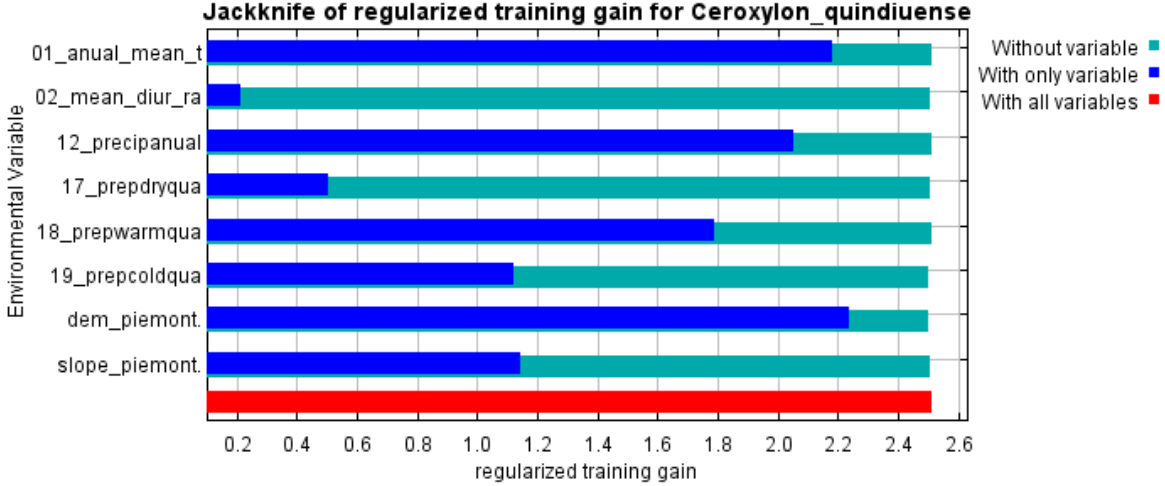
The following table gives estimates of relative

contributions of the environmental variables to the Maxent model. To determine the first estimate, in each iteration of the training algorithm, the increase in regularized gain is added to the contribution of the corresponding variable, or subtracted from it if the change to the absolute value of lambda is negative. For the second estimate, for each environmental variable in turn, the values of that variable on training presence and background data are randomly permuted. The model is reevaluated on the permuted data, and the resulting drop in training AUC is shown in the table, normalized to percentages. As with the variable jackknife, variable contributions should be interpreted with caution when the predictor variables are correlated. Values shown are averages over replicate runs.

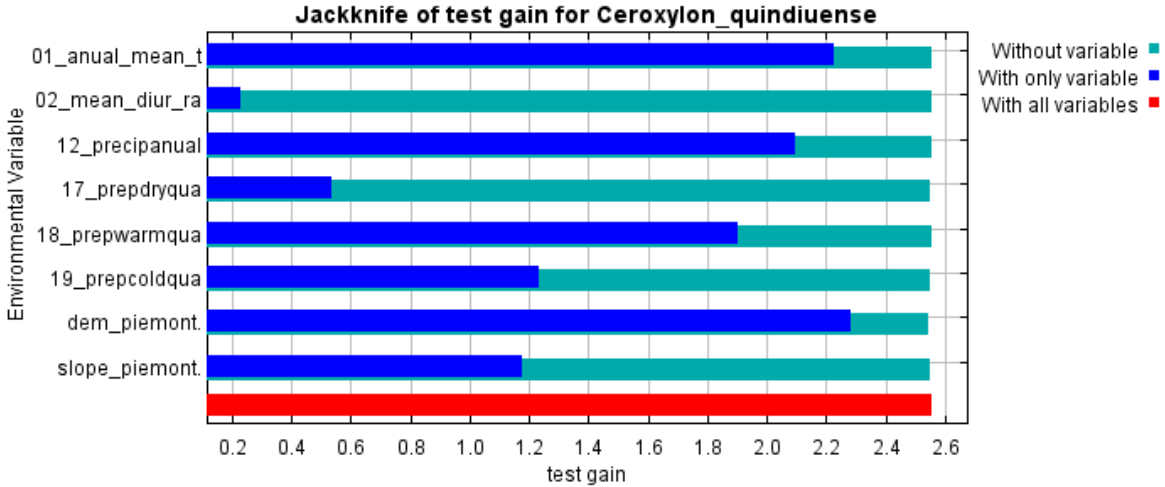
Variable	Percent contribution	Permutation importance
dem_piemont.	69.6	96.3
19_prepcoldqua	18.3	2.5
02_mean_diur_ra	5.4	0.2
01_anual_mean_t	4.5	0.2
17_prepdryqua	1.3	0.6
slope_piemont.	0.5	0.1

18_prepwarmqua	0.4	0
12_precipanual	0	0

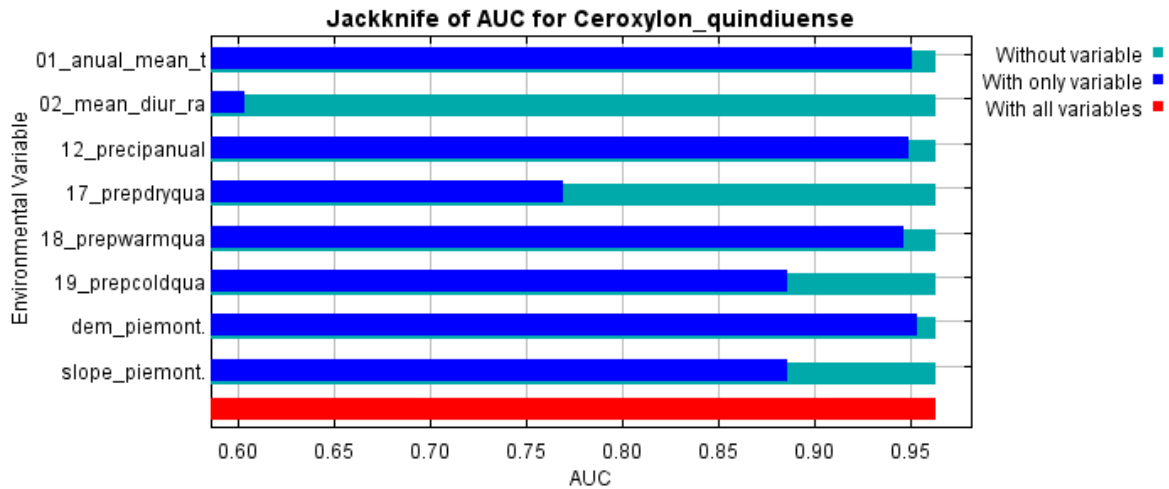
The following picture shows the results of the jackknife test of variable importance. The environmental variable with highest gain when used in isolation is dem_piemont., which therefore appears to have the most useful information by itself. The environmental variable that decreases the gain the most when it is omitted is dem_piemont., which therefore appears to have the most information that isn't present in the other variables. Values shown are averages over replicate runs.



The next picture shows the same jackknife test, using test gain instead of training gain. Note that conclusions about which variables are most important can change, now that we're looking at test data.



Lastly, we have the same jackknife test, using AUC on test data.



Command line to repeat this species model: java density.MaxEnt nowarnings noprefixes -E "" -E Ceroxylon_quindiuense responsecurves jackknife outputformat=logistic outputdirectory=J:\TESIS\Maxen_modelo\modelofinal2 samplesfile=J:\TESIS\Maxen_modelo\layers\puntospalma.csv environmentallayers=J:\TESIS\Maxen_modelo\layers\ascsiiall randomseed nowriteclampgrid randomtestpoints=25 replicates=15 replicatetype=subsample nooutputgrids maximumiterations=5000 -N 03_isothermal -N 04_temp_season -N 05_maxtempmesw -N 06_mintempmesw -N 07_tempanualran -N 08_temmeanwetm -N 09_meatempdrym -N 10_meantemwarq -N 11_meantemcoldq -N 13_precipwetmes -N 14_prepdrymes -N 15_precseason -N 16_prepwetqua

3.3.5. Raw data outputs and control parameters

Regularized training gain is 2.512, training AUC is 0.963, unregularized training gain is 2.557.

Unregularized test gain is 2.542.

Test AUC is 0.961, standard deviation is 0.002 (calculated as in DeLong, DeLong & Clarke-Pearson 1988, equation 2).

Algorithm converged after 440 iterations (5 seconds).

The follow settings were used during the run:

790 presence records used for training, 263 for testing.

10789 points used to determine the Maxent distribution (background points and presence points).

Environmental layers used (all continuous): 01_anual_mean_t 02_mean_diur_ra 12_precipannual 17_prepdryqua 18_prepwarmqua 19_prepcoldqua dem_piemont.

slope_piemont.

Regularization values: linear/quadratic/product: 0.050, categorical: 0.250, threshold: 1.000,
hinge: 0.500

Feature types used: hinge product linear quadratic

responsecurves: true

jackknife: true

outputformat: logistic

outputdirectory: J:\TESIS\Maxen_modelo\modelofinal2

samplesfile: J:\TESIS\Maxen_modelo\layers\puntospalma.csv

environmentallayers: J:\TESIS\Maxen_modelo\layers\ascsiiall

randomseed: true

writeclampgrid: false

randomtestpoints: 25

replicates: 15

replicatetype: subsample

outputgrids: false

maximumiterations: 5000

3.4. Aval de investigación otorgado por la Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas



**GOBIERNO
DE COLOMBIA**



MINAMBIENTE



**PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA**

Bogotá, D.C.

**MEMORANDO
*20192000000573***

FECHA: *17-01-2019_S*

PARA: JUAN CARLOS CLAVIJO
Jefe del Parque Nacional Natural Chingaza

DE: EDNA CAROLINA JARRO FAJARDO
Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas

ASUNTO: Solicitud de aval de investigación: "ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA PALMA DE CERA DEL QUINDÍO EN EL MUNICIPIO DE SAN JUANITO, META".



Respetado Doctor Clavijo,

En respuesta al Memorando 20187160003903 del 06 de noviembre de 2018, mediante el cual el PNN Chingaza solicita un aval de investigación para el proyecto de la referencia, la Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas (SGM) se permite comunicarle lo siguiente:

Mediante Resolución 351 de 2012¹ Parques Nacionales Naturales adoptó el "Lineamiento Institucional de Investigación del Sistema de Parques Nacionales Naturales" en el cual se establece que la investigación en PNN debe propender por la generación de información para el establecimiento de la línea de base de los valores objeto de conservación (VOC), elementos priorizados en los procesos de conservación de las áreas, las presiones, y el levantamiento de información clave para el manejo de acuerdo con los vacíos o necesidades de información priorizados por el área protegida, la Dirección Territorial y el Nivel Central como limitantes para la gestión. De igual manera, en el mencionado lineamiento se establecieron cinco líneas estratégicas de investigación las cuales son priorizadas y consolidadas por las áreas protegidas a través del portafolio de proyectos de investigación. Dicho portafolio corresponde entonces a un documento anexo al Plan de Manejo en el cual las Áreas Protegidas presentan las líneas de investigación priorizadas, así como las necesidades o vacíos de información reconocidos durante la formulación, reformulación o actualización de los planes de manejo.

El PNN Chingaza, con el objeto de resolver las necesidades de investigación priorizadas en el Portafolio de Proyectos de Investigación del área, solicita a la Subdirección de Gestión y Manejo un aval de investigación, justificando que: "El

¹ Resolución 0351 de 2012 de Parques Nacionales Naturales. Por la cual se adopta el lineamiento institucional de investigación del Sistema de Parques Nacionales Naturales.



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS
Calle 74 No. 11 - 81 Piso 3 Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: 353 2400 Ext.: 3132
www.parquesnacionales.gov.co



*Parque Nacional Natural Chingaza ha orientado acciones para la generación de conocimiento sobre el estado de la biodiversidad del área protegida y los demás elementos que han sido priorizados en el Plan de Manejo del Parque. Esto, con el fin de conocer algunos aspectos de la integridad ecológica de los ecosistemas del área protegida; dado lo mencionado anteriormente, con la participación del equipo del Parque se elaboró conjuntamente una propuesta de investigación con la Pontificia Universidad Javeriana, para determinar el estado de conservación actual de la población de *Ceroxylon quindiuense* en el Parque y su área de influencia. Esta investigación está articulada con el Portafolio de proyectos de investigación del área protegida en la línea temática 1. Caracterización de la base natural, por lo que consideramos pertinente esta investigación para conocer el estado de conservación actual de la población de la palma de cera y conocer los factores de transformación que inciden en el mismo. Adicionalmente, esta información permitirá formular objetivos medibles y monitoreables en el tiempo, lo cual permitirá al área protegida evaluar la efectividad de las acciones implementadas y priorizar actores estratégicos para la generación de planes de conservación más acertadas”.*

Como soporte de la formulación conjunta del proyecto, el PNN Chingaza remitió un acta con fecha 21 de octubre de 2018, con su respectiva lista de asistencia, cuyo objetivo fue concretar el plan de trabajo para el proyecto; y los temas tratados fueron las actividades y compromisos para el desarrollo de la investigación.

Preguntas de investigación:

¿Cuál es el estado de conservación de la Palma de Cera basados en su distribución, estructura poblacional y variables ambientales y de transformación en el PNN Chingaza?

Tiene como objetivos:

General: Determinar el estado de conservación actual de la población de *Ceroxylon quindiuense* en el PNN Chingaza y su área de influencia, en las veredas San Luis de Toledo y El Tablón en el Municipio de San Juanito, Meta

Específicos:

1. Definir la estructura poblacional de *C. quindiuense* en el PNN Chingaza, en Municipio de San Juanito, Meta.
2. Caracterizar variables ambientales y factores de transformación que incidan sobre la presencia y densidad de la especie.

Métodos: En esta investigación se implementará la siguiente metodología:

La metodología empleada para la investigación de las poblaciones de *C. quindiuense* reportadas, estará compuesta de 2 fases principales:

Fase 1: Delimitación del área de estudio. Esta fase tiene como propósito delimitar el área de estudio, mediante la implementación de técnicas fotogramétricas, utilizando fotografías aéreas generadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). La fotogrametría se define como una técnica que estudia y define con precisión la forma, dimensión y posición de un objeto o espacio determinado, utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías (Clavo, 1982). Debido a que los individuos adultos de la Palma de cera del Quindío sobresalen de la vegetación cuando se observa desde el aire, se realizará una serie de vuelos que permitan reconocer la presencia de estos individuos en las diferentes coberturas (Potrero y bosques). Al efectuar los vuelos de reconocimiento, se procederá entonces a diseñar los planes de vuelo para la generación de ortomosaicos. El plan de vuelo consta de los diferentes parámetros (altura de vuelo, solapamiento vertical y horizontal de fotografías, velocidad, ajuste de los “waypoints” y la dirección



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS
Calle 74 No. 11 - 81 Piso 3 Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: 353 2400 Ext.: 3132
www.parquesnacionales.gov.co



de vuelo) que hay que tener en cuenta al realizar un vuelo con un UAV. En este caso, para asegurar que el vuelo sea seguro y además que se obtengan los resultados deseados, se utilizará la aplicación de Ipad, Drone Deploy para programar la misión. Al obtener las fotografías necesarias se procesarán en el software Agisoft Photoscan, el cual generará los ortomosaicos. Los ortomosaicos permitirán georreferenciar y contar los individuos adultos de *C. quindiuense* que se identifiquen, obtener una medida precisa de la densidad de estos y además determinar dónde se podrían establecer las parcelas mediante puntos aleatorios en la siguiente fase. También se realizará un mapa de coberturas, donde se mostrará las coberturas de potrero y las de bosque. Se utilizará un UAV modelo Phantom 4-Advance para tomar las fotografías.

Para la operación de un vehículo aéreo no tripulado, el piloto autorizado Nicolás Skillings, cuenta con las certificaciones requeridas para su operación autorizada dentro del área protegida.

Fase 2: Toma de datos: La estructura poblacional de *C. quindiuense* se determinará siguiendo los parámetros establecidos por Antheleme et al. (2010) en el protocolo internacional del proyecto PALMS. Se realizará entonces, un total de 12 parcelas de 400m2 cada una (20x20m). Se ubicarán cuatro parcelas de manera aleatoria en cada una de las coberturas. La localización de las parcelas se establecerá mediante un punto escogido al azar. A partir de este punto se mide la distancia hacia el tallo de la palma más cercana. Este individuo establece una esquina de la parcela. Cada parcela debe estar a más de 40 metros de las demás. Se registrará el número total de individuos de *C. quindiuense*, se determinará el sexo de los individuos adultos y se asignará cada individuo a una de las cinco clases de edades que se explican a continuación:

- Plántula: Está caracterizada por sus hojas lanceoladas. Esta fase empieza con la germinación y termina con la aparición de las primeras divisiones del limbo.
- Juvenil 1 (J1): Está caracterizado por hojas parcialmente o totalmente divididas en segmentos. Mide menos de 2 m de altura.
- Juvenil 2 (J2): Difiere del estado anterior por su tamaño superior a 2 m.
- Juvenil 3 (J3): Empieza con el inicio del desarrollo del tallo aéreo y termina con la aparición de la primera inflorescencia.
- Adulto: Tiene un tallo y se encuentra en estado reproductivo.

Las diferencias de estructura poblacional en base a los estados de desarrollo de la palma informan sobre las variaciones en la dinámica poblacional, la cual se puede evidenciar mediante una tabla de vida vertical. A escala de paisaje, la densidad de los individuos J3 y adultos de *Ceroxylon quindiuense* se calculará usando la distancia básica al individuo más cercano (BDCI) según el método propuesto por Cottam & Curtis (1956):

$$BDCI = 1/(4[\sum R_i/N])^2 * 10,000$$

Donde R es la distancia entre el punto aleatorio y el individuo adulto o J3 más cercano y N el número total de puntos aleatorios. Luego se calculará el índice de agregación (IA) teniendo en cuenta la densidad promedio de individuos J3 y adultos que se registró en las parcelas (D) y la BDCI.

$$IA = D/BDCI$$

Para contrastar estos resultados, también se estimará la densidad total de individuos J3 y adultos mediante el conteo de individuos que se logren observar en los mapas generados en la fase 1. Por cada parcela se medirá la pendiente



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE AREAS PROTEGIDAS
Calle 74 No. 11 - 81 Piso 3 Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: 353 2400 Ext.: 3132
www.parquesnacionales.gov.co



promedio, el % de hojarasca, la densidad del dosel, se anotaran las observaciones en cuanto a factores de transformación (pisoteo/ramoneo, cultivos, extracción, especies invasoras, entorno urbano, evidencias de deforestación y otras observaciones (Jiménez, 2017), se tomarán las coordenadas del centro de la parcela, y se medirá el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los individuos con DAP mayor a 10 cm, para luego obtener el área basal de estos individuos y poder evaluar la influencia de la estructura del bosque sobre *C. quindiuense*.

Con lo anterior se planea obtener resultados de las densidades de palmas por cobertura, por clase de edad y sexo. Lo que permitirá generar representaciones gráficas. En cuanto a las variables ambientales se hará una serie de pruebas estadísticas que permitan identificar si existe alguna diferencia significativa entre las abundancias de las diferentes clases de edades entre las coberturas, o si alguna de las variables ambientales logra explicar la presencia o ausencia de la palma.

Tiempo de la investigación: Ocho meses

Participantes del proyecto y sus funciones:

Nombre	Entidad y cargo	Función dentro del proyecto
Nicolás Skillings CC. 52388428	Pontificia Universidad Javeriana	Encargada de coordinar las salidas de campo, establecimiento de parcelas de muestreo y avance del proyecto. Manejo autorizado de vehículo aéreo no tripulado. Coordinar análisis de datos, escritura de informes y publicaciones científicas. Además, estará a cargo de entrenamiento de estudiantes en colecta de datos demográficos
Juan Carlos Benavides CE. 328489	Pontificia Universidad Javeriana	Encargado de coordinar evaluaciones de ensayos de propagación. Colaborar en análisis de datos, escritura de informes y publicaciones científicas. Además, estará a cargo de entrenamiento de estudiantes.
David Esteban Hernández CC. 1015421496	Profesional de investigación y monitoreo PNN Chingaza	Selección de sitios y especies, ubicación y establecimiento de parcelas, incorporación de resultados al manejo del área protegida, participación en la elaboración de informes y publicaciones científicas.
Mariana Gómez Botero CC. 1020757487	Profesional Restauración PNN Chingaza	Selección de sitios y especies, ubicación y establecimiento de parcelas, incorporación de resultados al manejo del área protegida, participación en la elaboración de informes y publicaciones científicas.
Ángel Ramiro Pulido CC. 81753037	Técnico de restauración PNN Chingaza	Selección de sitios y especies, ubicación y establecimiento de parcelas, incorporación de resultados al manejo del área protegida, participación en la elaboración de informes y publicaciones científicas.

Con base en lo anteriormente expuesto, así como la propuesta de investigación adjunta al Memorando, la Subdirección de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas considera pertinente **AVALAR** en el marco de las líneas temáticas de Investigación y Monitoreo el proyecto de investigación "ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA PALMA DE CERA DEL QUINDÍO EN EL MUNICIPIO DE SAN JUANITO, META", presentado por el PNN Chingaza y la Universidad Javeriana, con una duración de ocho meses.





De igual manera, para el presente aval la SGM tuvo en cuenta que:

- El proyecto de investigación aportara información sobre la función y el estado de conservación de la especie considerada En Peligro y de esta manera poder aportar a orientar las acciones necesarias para asegurar su conservación, mediante la inclusión de una nueva población al programa de conservación que se tiene del grupo de especies a nivel nacional.
- El proyecto de investigación toma así mismo relevancia si se tiene en cuenta que contribuirá, en la recopilación de información para la caracterización de especies de flora amenazadas que habitan en los ecosistemas del PNN Chingaza, lo cual podrá ser utilizado para priorizar las acciones de manejo proyectadas para el área protegida.
- El proyecto de investigación fue formulado de manera conjunta entre el PNN Chingaza y los investigadores de la y la Javeriana, teniendo en cuenta el aporte a las necesidades de investigación priorizadas en el portafolio de investigación del área protegida.
- Esta investigación estará articulada con el equipo del PNN Chingaza, mediante la inclusión activa de dos profesionales que apoyaran la parte técnica y la elaboración de documentos y publicables relacionados con los resultados de la investigación; así como un técnico, quienes estarán participando en apoyo logístico y la elaboración de documentos y publicaciones.

Dado el presente AVAL el Jefe del PNN Chingaza deberá realizar el seguimiento del proyecto y velar porque los investigadores den cumplimiento a los siguientes compromisos:

- Acogerse a las obligaciones y prohibiciones establecidas en el Decreto 1076 de 2015², el plan de manejo y otras normas específicas del PNN Chingaza.
- Los investigadores, previo a la ejecución de las salidas de campo, deberán remitir al Jefe del área protegida, con copia al Profesional de Restauración y/o Investigación y Monitoreo, vía correo electrónico, la programación de las salidas de campo, duración y actividades a realizar en cada una, independientemente de lo establecido en el cronograma de actividades.
- Los investigadores deberán presentar un informe trimestral de la ejecución de las actividades establecidas en el presente Aval, el cual deberá ser enviado al Jefe del área protegida, con copia al profesional de restauración y/o investigación y monitoreo del área, quien deberá remitirlo al nivel central. El incumplimiento de este compromiso, podrá llevar la revocación del presente Aval.
- Remitir el informe final (digital) a través de correo electrónico monitoreo.central@parquesnacionales.gov.co con el objeto consolidar la información que se genera desde las áreas protegidas en el centro de documentación del nivel central y dar a conocer los resultados obtenidos a los grupos temáticos del Nivel Central. La fecha máxima para la entrega del informe final será de seis meses contados a partir de la finalización del tiempo total de la investigación para la ejecución del proyecto, el cual será contado a partir de la fecha de radicado del presente memorando. Así mismo se deberá remitir copia digital de las publicaciones que se deriven del proyecto.
- Los investigadores, en articulación con el área protegida deberán cargar los datos resultantes de la investigación en el Sistema de Información de Monitoreo e investigación de Parques Nacionales Naturales- SULA; para ello deberán comunicarse con la administración nacional del Sistema al correo sula@parquesnacionales.gov.co. Como evidencia del cargue de datos se deberá presentar el pantallazo del lote de datos en el sistema y la URL

² Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE AREAS PROTEGIDAS

Calle 74 No. 11 - 81 Piso 3 Bogotá, D.C., Colombia

Teléfono: 353 2400 Ext.: 3132

www.parquesnacionales.gov.co



GOBIERNO
DE COLOMBIA



MINAMBIENTE



PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA

del metadato asociado en Geonetwork (Sistema de información para metadatos de PNN. La fecha máxima para la entrega de la evidencia del cargue de datos será de seis meses contados a partir de la finalización del tiempo total de la investigación, el cual será contado a partir de la fecha de radicado de este memorando

Las publicaciones derivadas de la investigación en cuestión contarán con el reconocimiento a Parques Nacionales Naturales, y con las autorías de los profesionales de PNN de acuerdo a los compromisos previamente establecidos.

El no cumplimiento de estos compromisos condiciona la otorgación de avales a futuro que sean solicitados por el área protegida.

Atentamente,

EDNA CAROLINA JARRO FAJARDO
Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas

VcBo: Margarita Rozo
Elaboró: Irene Aconcha Abril.

Proyecto: EJARRO



SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS
Calle 74 No. 11 - 81 Piso 3 Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: 353 2400 Ext.: 3132
www.parquesnacionales.gov.co