

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal



**CORRELACIÓN ENTRE LOS DIÁMETROS DE FUSTE Y
COPA DE *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. EN
JAÉN 2019**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MARVIN LORENZO VARGAS PESANTEZ

ASESORES

ING. M. SC. GERMÁN PÉREZ HURTADO

ING. M. SC. VITOLY BECERRA MONTALVO

JAÉN – PERÚ

2022




ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los nueve días del mes de febrero del año dos mil veintidós, se reunieron en el **Ambiente virtual a través de la herramienta del Google meet**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 058-2021-FCA-UNC, de fecha 8 de marzo del 2021, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulada: "**CORRELACIÓN ENTRE LOS DIÁMETROS DE FUSTE Y COPA DE *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. EN JAÉN 2019**", ejecutado(a) por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don MARVIN LORENZO VARGAS PESANTEZ**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **ocho** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **dieciséis (16)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **nueve** horas y **cuarenta y dos** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 9 de febrero de 2022.


Dr. Segundo P. Vaca Marquina
PRESIDENTE


Ing. Leiwel Flores Flores
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
ASESOR


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

DEDICATORIA

Al Eterno, Fuente de Agua Viva.
Porque estar aquí presente,
es solo por Su Voluntad.

A mi familia,
por cuanto significan y todo lo brindado.
Mis padres,
ejemplo de perseverancia.
El amparo y apoyo moral,
de mi hermana Josy.
La empatía de mis hermanos,
Abraham y Aarón.

A la memoria de mi abuelito,
Wilfredo Enrique Pesantes Gómez.
Mentor para muchos,
y preceptor en mi formación de vida;
aún hasta en su último suspiro.

Merecedores de toda gratitud.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que intervinieron en distintas etapas del presente estudio.
Su contribución ha sido determinante para llegar a la conclusión del mismo:

Al Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
y al Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo.

Por su atención, paciencia y tiempo dedicados en cada una de las etapas.
Como asesores, siempre me brindaron las orientaciones que fueron necesarias.

Al Ing. Jarold Marín Julca e “ITEG Perú SAC”, entidad a la que representa.
Por el apoyo y compromiso asumidos, en las actividades de teledetección
(sobrevuelo de la zona de estudio y el procesamiento de las fotos aéreas);
aún antes de que se vislumbrara la propuesta inicial para realizar este estudio.

A la Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández.
Porque inicialmente, desde la distancia, siempre me brindó sus orientaciones.
Del mismo modo, a la Ing. M. Sc. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga.
Aclararon las dudas suscitadas por la disyuntiva respecto al tema que abordaría.

Al Sr. Exequiel Huancas Parihuaman y familia.
Por las facilidades otorgadas para el ingreso a su propiedad:
el “Bosque Yanahuanca”, a fin de poner en marcha la metodología propuesta.

A Viuler Armijos N. y Javiel A. Chasquero O.
Quienes facilitaron parte de la instrumentación requerida en campo.
Así también, por las orientaciones que me fueron referidas.

A Kenia Marleey Quinde Flores.
Por su apoyo altruista, en las actividades de inventario en campo.

A Iris Rosmery Talledo Ubillús.
Por brindarme su apoyo para la determinación botánica de la especie.
Además, por todo lo que implicó llegar hasta ello:
a Charles D. Cano V. y Alexandra Neira C.
De la misma forma, a Yuli E. Díaz H. y Yudith Romero J.

A Kelvis A. Serrano Ch., Joan E. Pardo P.,
Darwin Montenegro A. y Karina Y. Jiménez U.
A ellos, por su favor, en circunstancias que resultaron inaplazables.

Igualmente, a Carlos A. Carrasco C.
Por brindarme su ayuda en los instantes requeridos,
y por su apoyo moral.

M. L.V. P

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS	21
2.2.1. Bosque Seco del Maraón.....	21
2.2.1.1. Características	23
2.2.1.2. Importancia biológica.....	24
2.2.1.3. Niveles de amenaza	25
2.2.2. <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.	25
2.2.2.1. Taxonomía	26
2.2.2.2. Nombres comunes	26
2.2.2.3. Descripción botánica	27
2.2.2.4. Ecología	28
2.2.2.5. Fenología	29
2.2.2.6. Usos e importancia.....	29
2.2.2.7. Distribución.....	30
2.2.2.8. Estado de conservación y amenazas	30
2.2.2.9. Propagación	32
2.2.3. El Cambio Climático y los Bosques Tropicales Secos	33
2.2.3.1. Los impactos negativos asociados	34
2.2.3.2. Medidas de restauración	35
2.2.4. La silvicultura en el manejo forestal.....	36
2.2.4.1. Parámetros silviculturales.....	37
2.2.5. La dendrometría, sus implicancias y variables.....	38

2.2.5.1. Tipos de medición	38
2.2.5.2. Errores en la medición forestal	39
2.2.5.3. Variables dendrométricas	39
2.2.6. Correlación de las variables dendrométricas	43
2.2.6.1. Importancia de la relación entre el diámetro de fuste (DAP) y el diámetro de copa (DC)	43
2.2.7. Análisis estadístico: correlación y regresión lineal	45
2.2.7.1. Correlación lineal o correlación de Pearson.....	46
2.2.7.2. Regresión lineal.....	48
2.2.8. La Teledetección en el ámbito forestal	51
2.2.8.1. La fotografía aérea desde sus orígenes	52
2.2.8.2. Silvicultura de precisión mediante RPAs	53
2.2.8.3. Componentes de un RPAs (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia)	54
2.2.8.4. Tipos de drones o RPA.....	55
2.2.8.5. Sensores de un RPA (Aeronaves Pilotadas a Distancia) ..	58
2.2.8.6. Aplicaciones específicas de los drones en el sector forestal	61
2.2.8.7. Plan de vuelo para exploración fotográfica con drones.....	65
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	70
2.3.1. Neotrópico	70
2.3.2. Bosque	70
2.3.3. Bosque seco.....	70
2.3.4. Bosques Tropicales Estacionalmente Secos (BTES).....	70
2.3.5. Calentamiento global.....	71
2.3.6. Cambio climático	71
2.3.7. Nivel preindustrial	71
2.3.8. Restauración	71
2.3.9. Especie endémica	72
2.3.10. Especie nativa	72
2.3.11. Dasometría.....	72
2.3.12. Dendrometría.....	72

2.3.13. Variable	72
2.3.14. Métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos.....	73
2.3.15. Modelo estadístico.....	74
2.3.16. Modelos de regresión	74
2.3.17. Modelo determinístico.....	74
2.3.18. Modelo estocástico.....	74
2.3.19. Error aleatorio.....	74
2.3.20. Teledetección	75
2.3.21. Silvicultura de precisión	75
2.3.22. Fotogrametría	75
2.3.23. Sensor remoto.....	75
2.3.24. Drone o RPA	76
2.3.25. Ortofoto	76
2.3.26. Población infinita	76
2.3.27. Pre muestreo.....	77
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	78
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	78
3.2. MATERIALES.....	79
3.2.1. Material biológico.....	79
3.2.2. Material y equipo de campo.....	79
3.2.3. Material y equipo de gabinete.....	79
3.3. METODOLOGÍA.....	79
3.3.1. Trabajo en campo.....	79
3.3.2. Trabajo en gabinete.....	82
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	84
4.1. RESULTADOS	84
4.1.1. Árboles de <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg. identificados en campo y determinación del tamaño de la muestra (n).....	84
4.1.2. Registro del Diámetro a la altura de pecho (DAP)	86
4.1.3. Obtención de la medición del Diámetro de copa (DC)	86
4.1.4. Correlación de los diámetros de fuste y copa ($r_{DAP,DC}$)	89
4.2. DISCUSIÓN.....	94

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1. CONCLUSIONES.....	98
5.2. RECOMENDACIONES.....	98
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
CAPÍTULO VII: ANEXO	114

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ecosistemas Tropicales Estacionalmente Secos en el Neotrópico según Pennington et al. (2000) y Linares-Palomino et al. (2002).....	22
Tabla 2. Posibilidades para calcular la relación según el tipo de variable en SPSS	45
Tabla 3. Principales características de los drones según su funcionamiento.....	57
Tabla 4. Principales características de los métodos paramétricos y no paramétricos	73
Tabla 5. Parámetros para el cálculo del coeficiente de variación (CV)	80
Tabla 6. Datos del pre muestreo (n_0) para el cálculo de la variabilidad (CV)	80
Tabla 7. Registro de dimensiones del Diámetro y Área de proyección de copa (DC y AC) de árboles de <i>Aspidosperma polyneuron</i> desde ArcMap	87
Tabla 8. Datos correspondientes al muestreo (n) para la correlación de variables .	89
Tabla 9. Tabla de resultados correlación DAP con DC ($r_{DAP, DC}$).....	90
Tabla 10. Tabla de resultados correlación entre el Área basal “g” con el Área de proyección de copa “AC” ($r_{g, AC}$).....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de núcleos de los Ecosistemas Tropicales Estacionalmente Secos en el Neotrópico.....	22
Figura 2. Bosque Seco del Marañón.....	23
Figura 3. Ilustración de <i>Aspidosperma Polyneuron</i> Müll. Arg.....	28
Figura 4. Incremento de la temperatura tomando como base el periodo preindustrial	33
Figura 5. Influencia de los niveles de calentamiento global en los impactos o los riesgos asociados a los motivos de preocupación (MdP) abordados por el IPCC.....	34
Figura 6. Localización del diámetro de referencia en árboles con diferentes formas de fuste.....	40
Figura 7. Diagramas de dispersión con tipos de correlaciones lineales	47
Figura 8. Intensidad y dirección del coeficiente de correlación	48
Figura 9. Clasificación de modelos de regresión.....	49
Figura 10. Palomas con cámaras en una exposición alemana, 1909.....	53
Figura 11. Componentes de un Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs).....	54
Figura 12. Drones según su uso	55
Figura 13. Drones de tipo ala fija y multirrotores	56
Figura 14. Drones mixtos (multirrotor - ala fija)	57
Figura 15. Espectro electromagnético.....	59
Figura 16. Conteo y determinación del volumen de copa de las plantas a través del mapeo aéreo con drones.....	62
Figura 17. Reflectancia de la luz según el estado nutricional de las plantas	64
Figura 18. Estado de la vegetación desde diferentes sensores	64
Figura 19. Detección de problemas fitosanitarios invisibles al ojo humano y seguimiento de su evaluación mediante vuelo multiespectral	65

Figura 20. Solape o superposición entre fotos tomadas mediante vuelo de un dron o RPA.....	66
Figura 21. Trazado de plan de vuelo sobre un terreno (en rojo el perímetro, en verde el recorrido del dron).	67
Figura 22. Pantalla de ajuste del área y los parámetros de mapeo mediante software.....	67
Figura 23. Fotografía aérea planimétricamente corregida (ortofoto).....	69
Figura 24. Mapa referencial de la ubicación del Bosque Yanahuanca	78
Figura 25. Medición de los diámetros de copa en ArcMap (en direcciones, Norte-Sur "N-S" y Este-Oeste "E-O"), desde una copa digitalizada de árbol de acerillo.	82
Figura 26. Digitalización manual de la copa del árbol de acerillo "Y 10 A", con vista del ortomosaico en falso infrarrojo (combinación RGB:4-3-2).....	83
Figura 27. Mapa de áreas identificadas con árboles de <i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg. en el ámbito del Bosque Yanahuanca.	85
Figura 28. Diagrama de dispersión DAP - DC.....	91
Figura 29. Diagrama de dispersión Área basal (g) - Área de proyección de copa (AC)	92
Figura 30. Ecuación de regresión lineal y Coeficiente de determinación muestral (R^2 o r^2) calculado en SPSS, respecto a la correlación entre DAP y DC ($r_{DAP, DC}$)	93

RESUMEN

El presente estudio fue desarrollado en el “Bosque Yanahuanca”, sector Uña de Gato (distrito Bellavista, en Jaén) para determinar la correlación entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Declarada “En Peligro” (EN), es endémica del Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES) y nativa de la región Nororiental del Marañón. El tamaño muestral (n) fue definido con la fórmula para poblaciones infinitas, considerando: un “t” valor al 95 % (1.98), un error “E” al 5 % y un coeficiente de variación “CV” de 11.77 desde un pre muestreo (n_0) de 30 árboles (DAP entre 20 a 30 cm). Aunque se obtuvo un $n = 22$, se resolvió trabajar con una muestra de 30 árboles (DAP ≥ 10 cm). Identificadas cinco zonas (A, B, C, D y E) y registrados 185 árboles, fue crucial una mesurada selección de individuos para los datos de la muestra a considerar, registrando así los atributos: forma de fuste y copa, iluminación de copa, entre otros. El diámetro del fuste (DAP) se obtuvo por medición con cinta métrica y el diámetro de copa (DC) mediante digitalización de ortomosaicos obtenidos con RPAs (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia). La correlación entre DAP y DC ($r_{DAP, DC}$) resultante fue de 0.937, con un coeficiente de determinación muestral (r^2 o R^2) de 0.878. Para efectos de corroboración, fue calculada la correlación entre “Área basal” y “Área de copa proyectada” ($r_{g, AC}$) resultando igual a 0.768; variables obtenidas mediante cálculo automatizado. De forma complementaria se generó el modelo de regresión lineal simple: $y = 0.71 + 0.25x$.

Palabras clave: Correlación, DAP, diámetro de copa, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., Drone.

ABSTRACT

The present study was developed in the "Yanahuanca Forest", Uña de Gato sector (Bellavista district, in Jaen) to determine the correlation between the stem and crown diameters of *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Declared "Endangered" (EN), it is endemic to the Seasonally Dry Tropical Forest (BTES) and native to the Northeast region of Marañon. The sample size (n) was defined with the formula for infinite populations, considering: a "t" value at 95 % (1.98), an "E" error at 5 % and a coefficient of variation "CV" of 11.77 from a pre-sampling (n_0) of 30 trees (DAP between 20 to 30 cm). Although $n = 22$ was obtained, it was decided to work with a simple of 30 trees (DAP ≥ 10 cm). Five zones (A, B, C, D and E) were identified and 185 trees were registered, a measured selection of individuals was crucial for the sample data to be considered, thus recording the attributes: stem and crown shape, crown lighting, among others. The diameter of the stem (DAP) was obtained by measurement with measuring tape and the cup diameter (DC) by digitization of orthomosaics obtained with RPAs (Remote Piloted Aircraft System). The resulting correlation between DAP and DC ($r_{DAP, DC}$) was 0.937, with a coefficient of sample determination (r^2 o R^2) of 0.878. For corroboration purposes, the correlation between "Basal area" and "Projected Crown area" ($r_{g, AC}$) was calculated resulting in 0.768; variables obtained by automated calculation. In a complementary way, the simple linear regression model was generated: $y = 0.71 + 0.25x$.

Key words: Correlation, DAP, crown diameter, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., Drone.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La correlación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) con el diámetro de copa (DC), es el estadístico que ha sido demostrado por diversos autores; entre ellos, Malleux (1970), quien indicara que el parámetro más adecuado para ser correlacionado con el diámetro de copa (DC), corresponde al diámetro a la altura del pecho (DAP). En consecuencia, diversos estudios han venido abordando su determinación con diferentes especies de interés, con fines silviculturales.

La creciente degradación de ecosistemas en nuestro país se ha constituido como una de las necesidades urgentes de atender, por lo que el SERFOR (2016, 2018), ha provisto de una serie de lineamientos que orientan en la restauración de los mismos; principalmente, en salvaguarda de la flora endémica de una región determinada. Es decir, no alentando tan solo una visión económica, sino más holística; avizorando la provisión de los servicios ambientales, a los que no debemos desatender. Entre los distintos tipos de bosques en el Perú, Cerrón et al. (2019), han registrado tan solo una experiencia de restauración respecto a los Bosques Secos del Marañón, a pesar de que son conocidos por su alto nivel de endemismos, tanto en flora como en fauna.

En nuestro país, afirman Cerrón et al. (2019:6), “el bosque seco del norte se divide en dos ecorregiones: los Bosques Secos de Tumbes-Piura y los Bosques Secos del Marañón”. Sin embargo, generalmente, al mencionar los bosques secos del Perú, inmediatamente se piensa en los bosques de algarrobo de la costa norte del país; esto, explica Linares-Palomino (2004), debido a que la mayor extensión de esta formación vegetal se encuentra en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque. Y es que, aunque son muchas las denominaciones para este ecosistema, la más acertada, e internacionalmente adoptada, refiere Linares-Palomino (2004), es la nomenclatura propuesta por Pennington et al. (2000), “Bosques Tropicales estacionalmente Secos” (BTES), congregando a las formaciones de vegetación estacional de suelos fértiles, y adoptando para su clasificación (a lo largo del Neotrópico), criterios de composición, tanto florística como fitogeográfica.

A nivel local, en la provincia de Jaén, para el Bosque del Marañón o “Bosque tropicalmente Seco del Marañón”, Marcelo-Peña et al. (2010), indicaron que muchas de las especies que se reportaran en su estudio, sobre la flora leñosa de dicho ecosistema, presentan alto potencial para la reforestación en zonas áridas y son estabilizadoras de suelo; entre ellas, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Ésta, además de ser endémica

del neotrópico, indican García et al. (2015), se encuentra en situación de amenaza, bajo la categoría de “En Peligro (EN)”.

Por ello, no es difícil aseverar que, tanto conservación como investigación, son preceptos que debemos tener muy en cuenta para con los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos (BTES), siendo que de ellos por mucho tiempo se ha desviado la atención.

Desde el lado de la conservación, sin lugar a dudas, una de las acciones más inmediatas que se ha podido percibir, corresponde a la conservación privada; entre las que se pueden mencionar, el ACP “Gotas de Agua” en el sector El Pongo en la ciudad de Jaén, y el “Bosque Yanahuanca” en el sector Uña de Gato, del distrito de Bellavista. Recientemente, también ha sido oficializada, mediante Decreto Supremo N° 006-2018-MINAM, la creación del Área de Conservación Regional (ACR) “Bosques Tropicales Estacionalmente Secos del Marañón”, que fuera impulsada por el Gobierno Regional de Amazonas, comprendiendo 13,929 ha (Romo 2018).

Sin embargo, en cuanto a investigación, Cerrón et al. (2019), mencionan que existe déficit en cuanto a la información silvicultural, respecto a las especies endémicas de los Bosques Secos del Marañón, por lo que se limita el empleo de las mismas en los sistemas productivos de la población. Asimismo, en todas las regiones, como precisa Blackie (2014:8), “hay una llamativa carencia de estudios sobre cómo se puede incorporar el cambio climático al manejo de los bosques secos”.

Entendiendo que, la silvicultura, se define como el “conjunto de técnicas que permiten el mantenimiento y regeneración del bosque y otras asociaciones vegetales forestales, a través de intervenciones en el establecimiento, la composición, la estructura y el crecimiento de la vegetación para atender mejor los objetivos del manejo” (SERFOR 2016:4). Resulta inherente apelar a la precisión y confiabilidad, cuando se trata de generar información que sería de utilidad a posteriori.

Al respecto, es necesario precisar que, aplicar la teledetección mediante el uso de “drones” o RPA (Aeronaves Pilotadas a Distancia) en investigaciones de materia forestal, tiene un rol fundamental; puesto que, a pesar de ser un tanto incipiente para el sector, no se discrepa de su fiabilidad. Tanto así, que hoy en día es posible escuchar hablar de “Silvicultura de Precisión”, un término adaptado, indica Pérez (2012), de la “Agricultura de Precisión”, precisamente, porque la aplicación inicial de esta tecnología, tuvo lugar en el estudio de los cultivos agrícolas.

Aun así, la teledetección como tal, no sustituye la necesidad de obtener datos sólidos de campo; pues al combinarse con los métodos tradicionales, es posible conseguir

mejores resultados, de los que pueden obtenerse utilizando cada uno de los métodos por separado (Evaluación de los recursos forestales mundiales, citado por Koch s. f.).

El presente estudio, ha sido elaborado considerando la necesidad de potenciar el valor científico de nuestros ecosistemas; más aún, cuando los BTES del Marañón han sido sometidos a intensa explotación, afectando, entre otras, la preeminencia de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Datos específicos de correlación sobre la especie citada, son desconocidos. Hipotéticamente, se sostuvo la existencia de una correlación positiva directa entre los diámetros de su fuste y copa. La información a destacar es relevante para la silvicultura, puesto que, coadyuva en la implementación de los planes de reforestación que buscan recuperar los paisajes degradados. El objetivo general consistió en determinar la correlación entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. en Jaén; considerando, específicamente, registrar el DAP de los individuos seleccionados por medición directa, obtener el diámetro de copa (proyección sobre plano horizontal) mediante teledetección, y finalmente, correlacionar los valores de diámetros de fuste y copa de *A. polyneuron* Müll. Arg.

En el siguiente apartado, se exponen las bases teóricas vinculadas a la investigación; desde el hábitat de la especie, su descripción y relación con el cambio climático, la dendrometría y sus estadísticos; asimismo, la silvicultura de precisión con RPAs, se incluye también, una sección sobre la definición de términos básicos. En el tercer capítulo, se indican los materiales y métodos: la recopilación de datos del diámetro a la altura del pecho (DAP), a partir de la medición directa, con cinta métrica (método tradicional); y del diámetro de copa (DC), mediante teledetección (Sistema de aeronaves Pilotadas a Distancia “RPAs”), a partir de la digitalización manual de ortomosaicos; ello, con el único propósito de generar información fidedigna, exenta de sesgos e imprecisiones. En el cuarto capítulo, referido a resultados y discusiones, se precisa, entre otros, el grado de correlación determinado entre las variables DAP y DC ($r_{DAP, DC} = 0.937$), el cual se traduce no solo en una relación “directa”, sino también, “altamente positiva”, haciendo permisible la generación de la ecuación de regresión lineal. Por último, en el quinto capítulo, se presentan a detalle las conclusiones y recomendaciones del estudio; considerando que la correlación es alta y positiva entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.; se insta a que la dedicación para indagar sobre la especie, no se relegue en el olvido, a fin de optimizar su propagación; un aporte que, a todas luces, se reviste de importancia en el aspecto silvicultural. Como parte de las acciones complementarias que se establecieron para el presente estudio, de forma ilustrativa, seriados en anexos, se presentan los mapas que fueron elaborados a partir del sobrevuelo con dron, de las zonas estudiadas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Giménez y Ríos (1999), realizaron el estudio “Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer, Anacardiaceae”. Tras la necesidad de aplicar planes de ordenación, para la preservación del recurso (que fuera calificado como principal fuente de materia prima del bosque nativo); dado que su existencia comenzó a ser escasa. Analizaron el crecimiento de árboles individuales en función de la edad. Para tales fines, incluyeron una muestra de 10 individuos con DAP (diámetro a la altura del pecho) superior a 30 cm, de la localidad de Los Pirpintos, Departamento Copo, Santiago del Estero, Argentina; y determinaron su crecimiento, mediante análisis epidométrico del fuste. De cada árbol seleccionado, extrajeron rodajas de 5 cm de espesor a la altura de 0.30 m, a 1.30 m y de allí cada 1 metro; hasta la primera ramificación. El análisis epidométrico, mediante el programa computarizado “AE” (que calcula evolución en diámetro, incremento medio anual e incremento corriente). Estudiaron la relación altura-edad, comparando para ello, las alturas de todos los árboles año por año; trabajaron con valores promedios de altura para cada edad y calcularon el IA (incremento anual) e IMA (incremento medio anual) para el volumen del fuste. Realizaron el análisis de regresión con el programa SAS, analizando la asociación entre variables con base en el coeficiente de correlación de Pearson, como la probabilidad asociada, representada por la prueba F y el análisis de varianza de la regresión. Finalmente, concluyeron que las variables DAP, área de sección normal, volumen de fuste, altura total, IMA e IA y la edad se ajustaban a funciones polinómicas de segundo grado. Que, el diámetro de copa-edad, diámetro de copa-DAP y sección de copa-área de sección normal; se ajustaban a funciones logarítmicas. Asimismo, que el DAP se correlacionaba positivamente con el diámetro de copa y la edad; el primero, con un coeficiente de correlación de 0.8526, ajustándose a una función logarítmica con R^2 de 0.7116.

Benítez et al. (2003), mediante el estudio “Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal ($d_{1,3}$) en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst.”, llevado a cabo en la provincia de Camagüey, Cuba; realizaron la valoración de la relación existente entre el diámetro normal y el diámetro de copa de dicha especie, usando tres modelos matemáticos a fin de establecer cuál sería el más apropiado. Así, a partir de una muestra de 301 árboles, se realizaron las mediciones del

diámetro normal con forcípula (dos mediciones en forma cruzada para obtener un promedio del mismo); y del diámetro de copa, a través de la proyección de la misma en un plano horizontal, midiendo con cinta un número de 4 a 8 radios según el criterio de Cailliez (1980). Seguidamente, los datos fueron procesados de forma automatizada mediante el sistema STATISTICA Versión 5, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y con un intervalo de confianza al 95 %; análisis de regresión que sólo se realizó con 215 árboles, mientras que los restantes, fueron empleados para validar la ecuación posteriormente seleccionada. El estudio, finalmente demostró un alto índice de correlación en todos los modelos empleados; no obstante, de entre todos, el más acertado resultó ser el modelo lineal, cuyos parámetros arrojaron valores de 0.924 para el coeficiente de correlación (R) y 0.854 para el coeficiente de determinación (R^2).

Angulo (2015), estudió la relación entre el diámetro de copa y del fuste de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, en la zona de Atalaya, región Ucayali. Ello, como una propuesta alternativa para la silvicultura de los bosques naturales y el establecimiento de plantaciones, hacia un mecanismo para la creación de una producción forestal sustentable. Calculó el tamaño de muestra (n) con un coeficiente de variabilidad de 40 % (tomando en cuenta lo sugerido por Camacho 1998), un error de muestreo del 10 % y una confiabilidad del 95 %, llegando a calcular 64 árboles; sin embargo, midió 80 árboles a fin de generar información más representativa. Para las mediciones del fuste, tomó en cuenta árboles rectos, con fuste cónico, sano y sin deformaciones, realizando la medición con cinta diamétrica. La medición del diámetro de copa, por medio de la proyección de copa sobre el terreno, en base a cuatro direcciones: norte-sur, noreste-suroeste, este-oeste y sureste-noroeste. Tuvo en cuenta, además, la iluminación de la copa según la clasificación de Dawkins (1958), adaptada por Alder y Synnott (1992). Determinó el modelo o función de la relación entre el diámetro medio de copa y el diámetro del fuste, mediante análisis de regresión lineal simple, empleando el programa estadístico SPSS y todos los datos de la muestra (n=80). Finalmente concluyó que el diámetro de fuste y el diámetro medio de copa están linealmente correlacionados, confirmando con el coeficiente de correlación de Pearson ($\rho = 0.8966$), una relación directa (ρ positivo) y fuerte (ρ que se aproxima a 1).

Montaner (2006), bajo el marco de la silvicultura de precisión, mediante su estudio "Segmentación automática de copas de árboles en Plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) usando fotografías aéreas digitales", desarrolló un algoritmo que le permitió identificar las copas de los árboles a través algoritmos digitales y procesos

morfológicos matemáticos. Su desarrollo abarcó primero, una fase de pre procesamiento, con el que corrigió errores radiométricos y geométricos; realizando, además, mejoramientos de la imagen, analizando sus componentes principales para así descartar información redundante. Una fase de procesamiento que abarcó tres etapas: eliminación de sombras, eliminación de sotobosque y segmentación (identificación y delimitación, esta última que concluyó con la etapa de construcción del algoritmo). Tras la evaluación de los errores en cada uno de sus procesos, logró un algoritmo desarrollado en base a conceptos de ubicación de máximos locales y delimitación de bordes a través de gradientes morfológicos y algoritmo "Watershed", los que fueron complementados con procesos de depuración en ambas etapas, de identificación y delimitación. Finalmente, tras validar la eficiencia del algoritmo en los rodales de *Pinus radiata* (D. Don), pudo concluir que, éstos se encuentran entre el 89-95 % de correcta identificación de los árboles, los cuales le sirvieron como base para el ajuste de una función que posteriormente utilizó para predecir el DAP individual de los árboles, generando finalmente una tabla de rodal a partir de todos los polígonos identificados como copas.

Uzquiano (2014), realizó el estudio "Mediciones dendrométricas y dasométricas mediante técnicas LIDAR y Fotogramétricas", con el objetivo de realizar una comparación de mediciones entre las nuevas tecnologías (la tecnología LiDAR terrestre-TLS y la fotogrametría aérea a través de vehículos aéreos no tripulados-RPAs) respecto de los métodos tradicionales (a través del uso de hipsómetro, cinta métrica y forcípula); midió distintas variables dendrométricas y dasométricas en una parcela experimental de *Pinus pinaster* Ait. en el municipio de Mata de Cuéllar (Segovia). A través del LiDAR terrestre se midieron las variables: altura del árbol, diámetro normal, altura de copa, anchura de copa y área basimétrica; realizando el análisis de comparación a través del modelo de regresión lineal. Los resultados obtenidos mostraron buena correlación entre las técnicas LiDAR y convencionales para las variables altura del árbol, altura de copa y área basimétrica; no así, para la anchura de copa y diámetro normal. El análisis estadístico determinó que: "a mayor anchura de copa, mayor diferencia de resultados entre las medidas convencionales y las del TLS". Diferencia que, sugirió, puede ser debida a la parcialidad con la que se obtienen los datos en campo, tras considerar que el LiDAR terrestre es capaz de proporcionar las medidas con mayor fiabilidad. Para la variable diámetro normal, la no correlación se debía, a diversos factores intrínsecos a la tecnología LiDAR, alcance del láser en el tronco, adaptación del

corte a 1,3 m del eje del árbol, así como la exactitud de representación de la sección muy distinta a la circunferencia obtenida de forma tradicional. El análisis estadístico permitió determinar la no correlación, para la fotogrametría aérea respecto de las medidas convencionales; explicando que, podría deberse a errores realizados durante el vuelo, como lo son, la inclinación y la cantidad de repetibilidad de fotografías tomadas, cruciales para la reconstrucción en 3D; sin embargo, considerable representación en cuanto a las copas de los árboles y el suelo.

Felipe (2014), con el fin de impulsar la fiabilidad de la tecnología fotogramétrica de bajo coste en aplicaciones forestales, realizó la “Estimación de variables dasométricas en masas de *Pinus nigra* a partir de datos LiDAR y fotogramétricos”, comparando la precisión obtenida. Para ello, tuvo en consideración dos registros de inventarios realizados con tecnología LiDAR y fotogramétricos: el de la Junta de las Comunidades Castilla-La Mancha (JCCM) y uno realizado por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), ambos en la provincia de Albacete, España. Asimismo, realizó un vuelo con paramotor, integrando un sistema fotogramétrico de bajo costo con cámara no métrica; para posteriormente estimar las variables dasométricas de interés: área basimétrica (G), número de pies (N) y volumen (VCC). Con distintas estrategias de cálculo y ajustes de validación, analizó el comportamiento de dichas variables, determinando finalmente que de entre los modelos exponencial, potencial y lineal, que fueron probados; este último ofreció los mejores resultados. Los ajustes fueron realizados en función a un coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{ajustado}$) y el error medio cuadrático (RMSE), encontrando una correlación existente entre los estadísticos calculados. En cuanto al RMSE los valores obtenidos por cada variable de interés fueron: 5.7 y 6.1 $m^2 ha^{-1}$ en G; 374.6 y 294.6 pies ha^{-1} en N y 20.4 y 37.8 $m^3 ha^{-1}$ en VCC, utilizando LiDAR y nube fotogramétrica respectivamente. Realizó la validación de los resultados con el 30 % de las parcelas estudiadas, obteniendo con los datos LiDAR y fotogrametría de bajo coste, valores similares: 6.2 y 7.6 $m^2 ha^{-1}$ para el área basimétrica (G) y 32.8 y 46.2 $m^3 ha^{-1}$ para el volumen (VCC); sin embargo, no así para N, cuya precisión a partir de los datos LiDAR (510.3 pies ha^{-1} , equivalente a un 86.28 % del RMSE), resultó inferior a la procedente de la nube de fotogrametría (197.73 pies ha^{-1} , equivalente al 30.75 %). Con los resultados obtenidos, aseveró, es posible realizar modelos predictivos a partir de datos fotogramétricos de bajo coste para estimar las principales variables dasométricas resultan, dado que son una alternativa fiable para los inventarios forestales y

compensable ante la falta de periodicidad de los vuelos LiDAR debido a su alto coste.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Bosque Seco del Marañón

En base al estudio de Linares-Palomino (2004), “Bosque muy seco Tropical” (según el sistema de Holdridge), “Bosques Secos Estacionales del Valle Interandino del Marañón” (según la clasificación de 1936 de Weberbauer), formaciones semiáridas con “Bosques Secos de Valles Interandinos” (según el Mapa forestal de 1995), entre otras; son algunas de las clasificaciones en las que correspondería el Boque Seco del Marañón. Un último reporte del MINAN (2014), lo integra entre su clasificación conformando el “Bosque Interandino”.

Linares-Palomino (2004) afirma que los criterios utilizados para clasificar a cada una de las formaciones de los bosques secos en el Perú han sido inadecuados, y como ejemplo, aduce, el Mapa de las Ecorregiones de Brack, no profundiza en todas las formaciones de los valles interandinos.

El término “Bosques Tropicales Estacionalmente Secos” (BTES) ha sido acuñado por Murphy y Lugo en el año de 1995, según refieren Espinosa et al. (2012), y comprenden a bosques caducifolios y semicaducifolios que crecen en áreas tropicales sujetas a una severa estacionalidad climática. Sin embargo, es el estudio de Pennington et al., citado por Linares-Palomino (2004), el que define a los bosques secos del Neotrópico bajo dicha denominación (BTES), en un sentido más amplio, logrando así incorporar las formaciones más características; por consiguiente, es el término más aceptado según Linares-Palomino (2004), Espinosa et al. (2012) y Marcelo-Peña et al. (2010), este último, al hacer referencia a los bosques del Valle del río Marañón.

La ventaja de esta definición, afirma Linares-Palomino (2004), es que ya está siendo usada con regularidad en un contexto internacional. Espinosa et al. (2012) en base a los estudios de Pennington et al. (2000) y Linares-Palomino et al. (2011), han representado lo que denominan “Distribución de núcleos de los Ecosistemas Tropicales Estacionalmente Secos en el Neotrópico” (Figura 1); realizado en base a tres criterios: Tipos de vegetación de los BTES, que distingue a tres (el chaco, la sabana y un bosque seco más genuino); Núcleos Biogeográficos de los ecosistemas secos tropicales, donde se distinguen doce; para llegar finalmente a establecer “Grupos por afinidad florística”, los que se circunscriben en cuatro:

(Mesoamérica y el Caribe, Pacífico Ecuatorial, Sur de América del Sur y Grupo Brasileño) (Tabla 1).

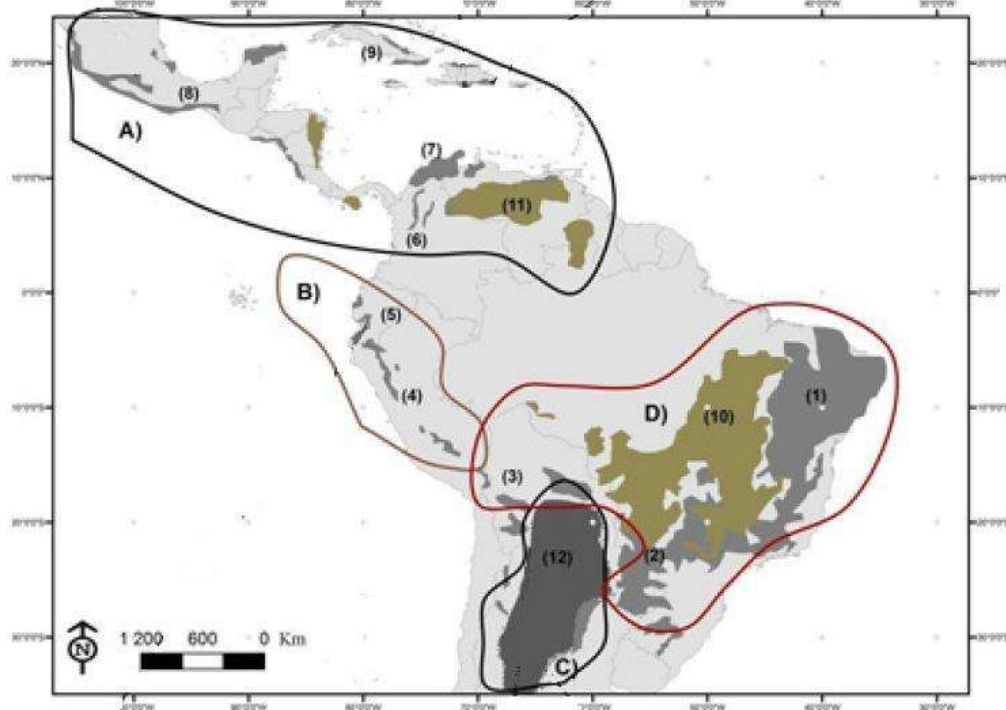


Figura 1. Distribución de núcleos de los Ecosistemas Tropicales Estacionalmente Secos en el Neotrópico

Fuente: Adaptado de Espinosa et al. 2012.

Tabla 1. Ecosistemas Tropicales Estacionalmente Secos en el Neotrópico según Pennington et al. (2000) y Linares-Palomino et al. (2002)

Tipos de vegetación de los BTES	Bosque seco más genuino	Sabanas	Chaco	Grupos por afinidad florística
Núcleos Biogeográficos de los ecosistemas secos tropicales	(6) valles interandinos de Colombia y Venezuela	(11) Llanos venezolanos		(A) Grupo Mesoamérica y el caribe
	(7) costa del Caribe y Venezuela			
	(8) México y América Central			
	(9) islas del Caribe			
	(4) Valles interandinos del norte de Perú, Bolivia y Ecuador			(B) Grupo Pacífico Ecuatorial
	(5) Costa del Pacífico de Ecuador y Perú			
			(12) Argentina, Paraguay y Bolivia	(C) Grupo Sur de América del Sur
	(1) Caatinga brasileña	(10) Cerrado brasileño		(D) Grupo Brasileño
	(2) Misiones en Paraguay y Brasil			
	(3) Pie de monte Argentino hasta norte de BTES bolivianos			

Fuente: Adaptado de Espinosa et al. 2012

2.2.1.1. Características

El valle interandino del río Marañón, indica AMEC (2011), se ubica al noroeste de Perú, siendo uno de los lugares más áridos y secos de los Andes peruanos. Ecológicamente, agrega, se encuentra dentro del ecosistema de Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES) y en la ecorregión Bosque Seco Ecuatorial (BSE).

Según el MINAM y MINAG (2011), los Bosques Secos del río Marañón, crecen a una altitud que oscila entre los 600 y los 1200 msnm, en los departamentos de Áncash, Huánuco, La Libertad, Cajamarca, Amazonas y Piura (Figura 2). Además, explica Romo (2018), abarcan una extensión aproximada de 373000 hectáreas; representando el 1.12 % del territorio nacional. “Un ecosistema que se caracteriza por tener un clima cálido, [...] precipitaciones limitadas solo a los meses de verano (diciembre a marzo) y en una cantidad muy escasa (100-500 mm), salvo cuando ocurre un evento El Niño” (Figuroa et al. 2013:30).

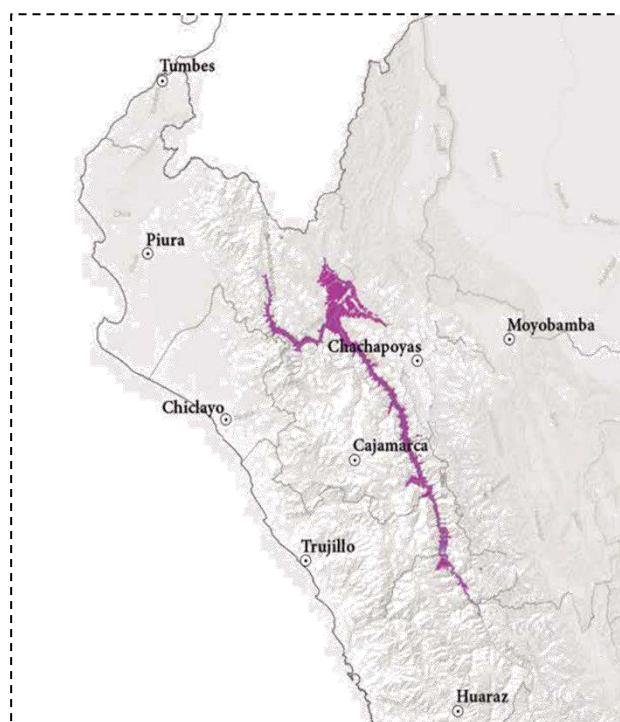


Figura 2. Bosque Seco del Marañón

Fuente: Adaptado de MINAM 2014.

Su clima característico, explican Figuroa et al. (2013), es resultante de dos efectos: La así llamada “sombra orográfica”, formada debido a que desde su orientación noroeste a sureste, y su posición a barlovento (respecto a los vientos alisios del oriente); el aire, que llega húmedo desde

barlovento por el Amazonas, al pasar la cordillera, llega ya seco. Y un “proceso de convección”, a causa de la circulación del aire, el cual, frío durante el día (por diferencia de presiones), se dirige a las laderas de la montaña (calientes por la radiación solar de las horas de media mañana y media tarde) ascendiendo a lo largo del cañón; mientras que el centro del valle es reemplazado por aire descendente de menor temperatura (el aire caliente en elevaciones altas se expande y enfría, mientras que, al descender, su humedad relativa baja y se vuelve a calentar rápidamente); esto a su vez explica la ausencia de nubosidad en el centro del valle. Proceso inverso ocurre durante la noche, con laderas totalmente húmedas y vientos que fluyen a ambos lados del valle, pudiendo producir condensación y lluvia; empero, dado lo estrecho y empinado de sus cañones, no se desarrollan tormentas nocturnas.

Para Killeen et al., citado por Figueroa et al. (2013); la poca cantidad de nubes durante el día tiene un efecto adicional: más luz solar para la superficie, aumento de la evapotranspiración potencial (con temperaturas superficiales más altas), menor humedad relativa y un ambiente general más xérico; a comparación de áreas con similares precipitaciones anuales, pero más nubosidad durante el día.

2.2.1.2. Importancia biológica

Para Prado y Gibbs y Pennington et al., citados por Espinosa et al. (2012); diversos estudios han permitido establecer que los BTES, durante las etapas glaciales más frías y secas, conformaron un bioma más extendido de lo que en la actualidad se observa en el Neotrópico; de manera que su distribución actual, sólo sería un remanente del otrora extenso bioma. Es más, sus características ambientales, indican Prieto-Torres et al. (2018), generan una variedad de hábitats que permiten la existencia de una gran diversidad de especies; e incluso, que las grandes regiones de bosque seco en el Neotrópico, alberguen especies endémicas características, reduciéndose así, su similitud ecológica.

Sin embargo, estudios recientes en los BTES del valle del río Marañón, indican Marcelo-Peña et al. (2014); los evidencian como los bosques con valores más altos en endemismos, en contraste con los BTES de regiones vecinas. “Para los biólogos, el bosque del Marañón es una ventana a un mundo prehistórico. Su apreciación parece justificada: un estudio genético

revela que muchas de sus plantas endémicas son culpa del aislamiento que les impuso el levantamiento de los Andes” (MINAM 2014:200).

Hablando más a detalle, para Marcelo-Peña et al. (2014), en el valle del Marañón, el distrito de Jaén es muy importante florísticamente por su diversidad de familias, géneros y especies. Señala, además: “Del listado actual de la flora leñosa de los BTES del sistema del Marañón [...], el 43 % están representados en los BTES de Jaén”.

2.2.1.3. Niveles de amenaza

En la región conocida como el Neotrópico, afirman Prieto-Torres et al. (2018), los bosques secos tropicales son de los ecosistemas más amenazados en el mundo, debido principalmente a las actividades humanas como: la agricultura, la ganadería, la explotación maderera e incluso la instalación de desarrollos turísticos.

La Línea Base Biológica elaborada para el “Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Chadín 2 de las regiones Amazonas y Cajamarca”; establece que los ecosistemas de bosques secos en el mundo comprenden alrededor del 40 % del ámbito de los bosques tropicales y subtropicales, y entre las principales amenazas que enfrenta, se encuentran las actividades relacionadas a la deforestación, incluyendo la agricultura (AMEC 2011).

Así también, los BTES de Jaén no están exentos de tales amenazas, explican Marcelo-Peña et al. (2010): Las colinas de suroeste y oeste, están desprovistas de vegetación debido a la tala progresiva para agricultura y ganado, así también, la quema de pastizales que ocasiona la pérdida de la regeneración natural; al oeste y noroeste, pueden hallarse pequeños relictos de BTES; por otro lado, al este, sureste y noreste de la ciudad (donde el BTES es más amplio), las trochas, las carreteras, las invasiones, la creciente venta de solares para la construcción de viviendas, las ladrilleras y la demanda de especies de uso combustible, vienen fragmentando el paisaje.

2.2.2. *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.

Según Erfurth y Rusche (1978), *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. forma parte de la Lista de Especies Madereras de la Selva Tropical Sudamericana, que reportaran mediante un estudio de la FAO denominado “Comercialización de maderas Tropicales en América del Sur”, siendo

catalogada como una especie de alto valor comercial (superior a 1000 m³) de entre las 1263 especies que reportaron. Para dicho resultado, sus autores analizaron la producción y el comercio por especies de nueve países sudamericanos (Bolivia, Perú, Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam, Guayana Francesa y Brasil); partiendo de definir como comerciales a “todas las especies madereras producidas en cantidades superiores a 1000 m³ y como ‘menos conocidas’ todas las demás especies, producidas en cantidades inferiores a 1000 m³ o que, no utilizándose comercialmente, hubieron sido identificadas (mediante evaluación específica) como especies que tienen un uso potencial en forma de madera aserrada, chapas y madera contrachapada”.

2.2.2.1. Taxonomía

La información taxonómica que le corresponde es como sigue a continuación (Catálogo de la biodiversidad s. f.):

Reino	: Plantae
Phylum	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Gentianales
Familia	: APOCYNACEAE
Género	: <i>Aspidosperma</i>

Así también, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. no está exenta de sinónimos, como lo es: *Aspidosperma dugandii* Standl. (Cárdenas y Salinas 2006). Una publicación de Cundinamarca, Colombia; la presenta como *Aspidosperma polyneuron* (Mutis ex L.f.) Wess.Boer (Rodríguez 2017).

2.2.2.2. Nombres comunes

“Acerillo”, es el nombre con el que Marcelo-Peña et al. (2010) la reportaron en la “Guía Ilustrada de la Flora Leñosa de los Bosques Estacionalmente Secos de Jaén, Perú”.

Para un espécimen procedente de Lonya Grande, del distrito de Bagua (Amazonas, Perú); del Herbario del Jardín Botánico de Missouri, se la reporta también bajo la denominación de “carreto”. (Catálogo de la biodiversidad s. f.)

Por otro lado, el Libro rojo de plantas de Colombia, presenta en serie los nombres siguientes: “Carreto, carrito blanco, costillo, costillo acanalado (a nivel nacional), comulá, cumulá o quimulá (Cundinamarca y Tolima)” (Cárdenas y Salinas 2006:38).

En Brasil generalmente es conocida como “peroba rosa” (Erfurth y Rusche 1978, Ribas et al. 2005 y Mazarotto et al. 2019). “Palo rosa” para el norte de Misiones, en Argentina (Pinazo et al. 2009, Gasparri 2016); “Ibirá-rómí” en lengua guaraní del que Gasparri (2016:152) explica:

A primera vista su nombre significa “árbol más chico o pequeño que el Iviraró” (*Pterogines nitens*) muy común en Paraguay, lo que es una incongruencia. [...] Iviraró significa “árbol amargo” o “árbol con el fruto muy amargo” y el palo rosa es entonces “el árbol con el fruto menos amargo que el Iviraró” ...

2.2.2.3. Descripción botánica

Para los BTES de Jaén, Marcelo-Peña et al. (2010:59), han establecido la siguiente descripción:

Árbol de 10-15 m de alto. Corteza externa profundamente fisurada, corteza interna crema. Ramitas terminales cilíndricas, con presencia de látex lechoso, de flujo lento. Hojas simples, alternas a subopuestas, con láminas de 4-12 cm de largo, 1-4 cm de ancho, elípticas u oblongo-elípticas, ápice obtuso, base cuneada u obtusa, borde sinuado o entero; venación eucamptódroma, con 12-22 pares de nervios secundarios, las hojas glabras y lustrosas. Inflorescencias en cimas terminales. Flores hermafroditas, blanco-pálidas; cáliz con 5 lóbulos ovados, agudos o redondos; corola tubular, el tubo de 7-10 mm de largo, con 5-lóbulos ovados; estambres 5, fusionados en el tubo de la corola. Fruto folículo de 3-6 cm de largo, 10-15 mm de ancho, lenticelado (Figura 3 y Anexos 2 y 3).

En el norte de Misiones (Argentina), refiere Gasparri (2016), puede alcanzar los 45 metros de altura y DAP de 1.60 metros”; razón por la que lo califica como “el árbol más grande de la selva”.

En Colombia, relata Rodríguez (2017:11):

... es un árbol de 20 a 30 metros de altura, con diámetros de 70 cm, presencia de ramas color grisáceo, abundantes de bifurcación

cimosa con presencia de lenticelas donde las disposiciones de las ramas forman una copa densa, ovalada, con follaje es de color verde claro. Tronco recto cilíndrico a ligeramente torcido, corteza externa gruesa, fuertemente fisurada longitudinalmente, dando una apariencia corchosa, corteza interna estriada la cual al rasparla da una rosa intensa, madera de color amarillento, con presencia de látex que fluye en puntos de forma lenta. Corteza muerta se desprende en pedazos rígidos (Anexo 2).

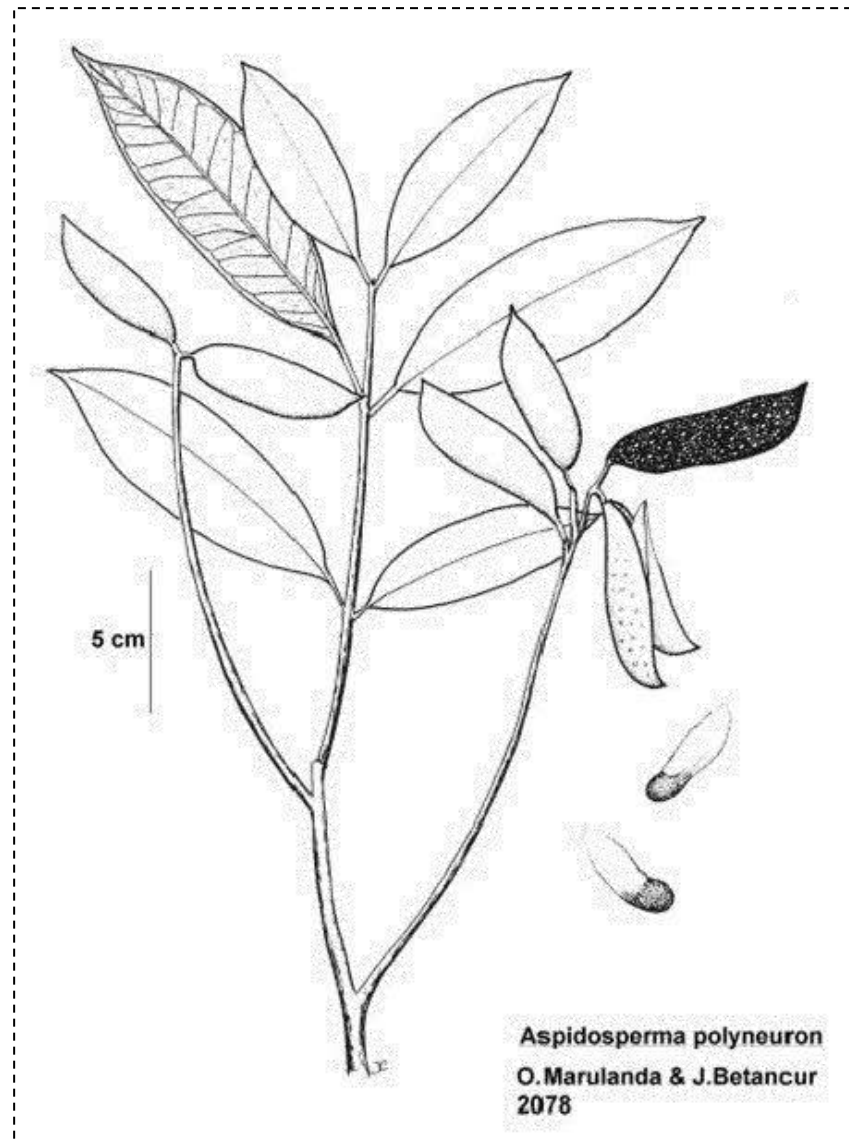


Figura 3. Ilustración de *Aspidosperma Polyneuron* Müll. Arg

Fuente: Cárdenas y Salinas 2006:41

2.2.2.4. Ecología

La especie en la zona (en alusión al BTES de Jaén), refieren Marcelo-Peña et al. (2010), es escasa; crece en terrenos ondulados y sobre fuertes

pendientes; prefiere suelos profundos, franco arenosos o franco arenarcillosos. En el sector El Huito, agrega; se pueden registrar hasta nueve árboles en 0.1 ha. Crece asociada con *Cordia iguaguana*, *Acacia macracantha*, *Hura crepitans*, *Sideroxylon obtusifolium*, *Triplaris cumingiana* y *Ceiba insignis*.

Según refiere Gasparri (2016:152), se concentran, “generalmente en manchones y siempre acompañados de la elegante Palmera (*Euterpes edulis*)”; para el caso de la provincia de Misiones (Argentina).

Para Fonseca et al., citados por Pinazo et al. (2009:238), “*Aspidosperma polyneuron* es reconocido como tolerante a la sombra o esciófita por la alta densidad de regeneración en el sotobosque”. Así también Bernacci y Leitão-Filho, Martins y Rodrigues, citados por Pinazo et al. (2009) refieren que diferentes autores han clasificado la especie como secundaria tardía de larga vida.

2.2.2.5. Fenología

En el ámbito de los BTES de Jaén, precisan Marcelo-Peña et al. (2010) la floración se da entre julio y agosto; y la fructificación entre setiembre y enero.

2.2.2.6. Usos e importancia

La especie, señala Marcelo-Peña et al. (2010:59) es requerida para: “carpintería, usada en partes estructurales de las viviendas y para fabricar parquet. Se emplea en sistemas silvopastoriles y cerca de las viviendas como árbol de sombra. Muy apreciada como leña, para hornos de pan y ladrilleras”.

Rodríguez (2017:12) da cuenta de lo siguiente:

Se han registrado usos no maderables especialmente como medicinal para lo cual se emplea el agua del cocimiento de las hojas para tratar el reumatismo articular y la cáscara que es amarga y astringente es usada como febrífugo y para combatir la diarrea. En la literatura se reporta que es indicado para combatir la malaria, encontrándose alcaloides con acción antimalarica en Brasil.

Para Marcondes-Ferreira, citado por Cárdenas y Salinas (2006) es la especie comercialmente más importante del género, ya que su madera es muy utilizada en construcción y elaboración de muebles y pisos.

2.2.2.7. Distribución

Aspidosperma polyneuron es una especie nativa de la región neotropical, en países como Colombia, Venezuela, Perú, Brasil, Argentina y Paraguay, propio de bosques semidecíduos (García et al. 2015). Esta especie, afirman Cárdenas y Salinas (2006); puede crecer tanto en bosques secos espinosos o en bosques húmedos tropicales, donde por lo general no es muy abundante.

Según Marcelo-Peña et al. (2010), *Aspidosperma polyneuron* se distribuye al oeste de Sudamérica. En nuestro país, está circunscrita en el ámbito de los BTES; puesto que como lo señalan Marcelo-Peña et al. (2010), la especie ha sido registrada en Amazonas y Cajamarca; con una distribución altitudinal de 380 a 2550 m.

“Solo presente en la Argentina en el norte de Misiones” afirma Chebez (1994:494). Dicha aseveración hace eco, puesto que, en el Bosque Misionero; la especie tiene mayor notoriedad entre una de las divisiones fitogeográficas que hiciera Martínez Crovetto alrededor del '63 y que lleva su nombre: el “Distrito del Palo Rosa” (Rodríguez et al. 2006, Gasparri 2016).

La Selva Misionera, Bosque del Alto Paraná (como también se le llama) o selva Paranaense, forma parte del gran complejo del Bosque Atlántico de Sudamérica; el cual se extiende por tres países: Brasil, Paraguay y Argentina (Plací y Di Betetti 2006, Jaramillo y Milkovic 2014). Cabe precisar que es también la ecorregión más grande (471.204 km²), de las quince ecorregiones que conforman el complejo de ecorregiones del Bosque Atlántico (Plací y Di Betetti 2006). No obstante, al igual que los BTES del Perú; se han visto severamente afectados: “... El Bosque Atlántico del Alto Paraná ha sido reducido a sólo el 7,8 % de su extensión original ...” (Plací y Di Betetti 2006:201-202).

2.2.2.8. Estado de conservación y amenazas

“*Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. (palo rosa) es una de las especies de madera valiosa de la selva paranaense y por lo tanto fue sometida a una fuerte extracción que obligó a la prohibición de su corta”, refiere Pinazo et al. (2009:238).

Así, por el año de 1986, mediante Ley N°2380 (actualmente Ley XVI–N°19¹), la ciudad de Posadas (capital de Misiones, Argentina) comunicaba al Poder Ejecutivo (Poder Legislativo Provincial 1986):

Declárese Monumento Natural Provincial, de interés público, y fuera de comercio a los ejemplares nativos de las especies "Araucaria Angustifolia" (Pino Paraná) y "Aspidosperma Polyneuron" (Palo Rosa), ubicados en tierras fiscales provinciales, de entes autárquicos, descentralizados, municipales y/o de propiedades privadas a fin de lograr la preservación, conservación y reproducción de las especies, para evitar su extinción.

Ha sido catalogada desde 1998, relatan García et al. (2015), bajo la categoría global y nacional "En Peligro" (EN). Por su parte, Rodríguez (2017) señala: "En Colombia la especie se encuentra en la categoría En peligro (EN A2cd), debido a que el 60 % de las localidades colombianas donde se ha registrado han sido consideradas como regiones con intensa explotación".

En Colombia, según García et al. (2015), sus poblaciones naturales fueron sometidas a una intensa explotación con fines madereros y su hábitat se vio seriamente degradado por actividades agrícolas y silvopastoriles.

En la provincia de Jaén (Cajamarca, Perú), según Marcelo-Peña et al. (2010), las especies comerciales maderables de los BTES han sido extraídas desde hace aproximadamente seis décadas; entre ellas *Aspidosperma polyneuron* "acerillo", para la construcción de viviendas y en las últimas décadas para la industria del parquet.

Actualmente, explican Marcelo-Peña et al. (2010:25); "... ya no quedan individuos maduros de buen porte y diámetro comercial. Sus poblaciones se han reducido a individuos jóvenes que no alcanzan alturas mayores de 20 m, por ejemplo, para *Tabebuia chrysantha* y *Aspidosperma polyneuron*".

Además, agrega, "... quedan pequeños relictos de bosques estacionalmente secos, al oeste y noroeste. El más representativo [...] se encuentra en el sector El Huito, [...] área aproximada de 15 ha, seriamente

¹ Cámara de Representantes de la Provincia de Misiones, República Argentina. 2019?. Digesto Jurídico Provincia de Misiones (en línea, base de datos). Consultado 27 dic. 2019. Disponible en <http://digestomisiones.gob.ar/buscador?page=76>

amenazado por la demanda de especies leñosas combustibles y la ganadería extensiva” (Marcelo-Peña et al. 2010:25).

La jurisdicción CAR (Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca) ha implementado el Plan de Conservación y Manejo del Cumala (*Aspidosperma polyneuron*), la que considera “una especie maderable de importancia económica y cultural que históricamente ha sido aprovechada y que se encuentra hoy en un grado alto de amenaza” (Rodríguez 2017).

El alcance propuesto por la CAR, indica Rodríguez (2017:34), señala que: “Para el 2020 se habrá aumentado el conocimiento ecológico sobre la especie [...] con miras a ser incorporada en diferentes sistemas productivos, aportando a mejorar su conservación y manejo y a conservar la diversidad del bosque seco del país”.

2.2.2.9. Propagación

Respecto a su propagación, en Colombia, Devia et al., citados por Rodríguez (2017), indican que los frutos se recolectan del árbol exponiéndolos al sol en una bolsa plástica para que abran y salgan las semillas, estas se siembran directamente en semillero a 2 cm de profundidad con 3 cm de separación entre unas y otras en hileras separadas 10 cm. Cuando las plantas alcanzan de 5 a 10 cm de altura se trasladan a bolsas, y cuando alcanzan de 15 a 20 cm se trasladan a un lugar definitivo.

Para Carvalho, citado por Ribas et al. (2005) su propagación presenta dificultades por 4 razones: fructificación irregular (grandes cantidades de producción de semillas cada 4 años), difícil recolección por el gran tamaño de los árboles, germinación irregular (entre 35 a 70 %), crecimiento lento y dificultad para enraizar esquejes.

Sin embargo, para especies nativas, la baja germinación; explican Vechiato y Parisi, citados por Mazarotto et al. (2019), está asociada a la acción de microorganismos que causan el deterioro de semillas. “Los hongos son la principal causa de enfermedades durante la formación y germinación de las plántulas” (Vechiato y Parisi, citados por Mazarotto et al. 2019:2).

La micropropagación, para Gomes et al., citados por Ribas et al. (2005); ha sido una herramienta útil para muchas especies forestales de importancia económica o en peligro de extinción. Así, Ribas et al. (2005)

establecieron un protocolo de micropropagación de material juvenil de *Aspidosperma polyneuron*, mediante prácticas de esterilización a diferentes concentraciones con fitorreguladores alcanzando tasas de supervivencia superiores al 72 %.

2.2.3. El Cambio Climático y los Bosques Tropicales Secos

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), desde principios del siglo XX, los científicos han venido observando un cambio en el clima que no puede atribuirse únicamente a alguna de las influencias “naturales” del pasado (UN CC:Learn s. f.).

El más reciente informe² del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC (c2019:4) indica:

Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (Figura 4).

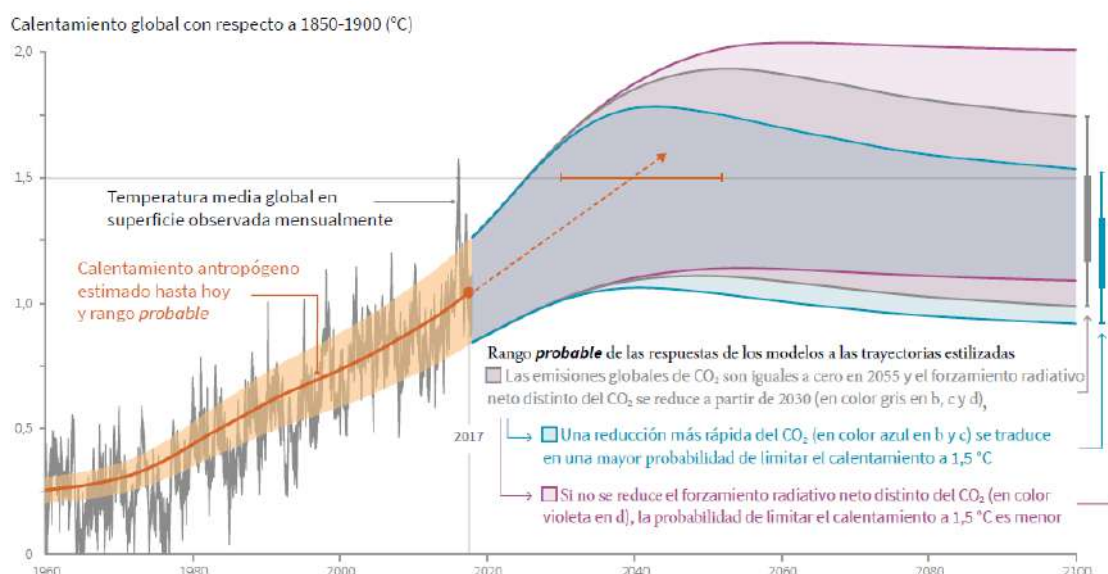


Figura 4. Incremento de la temperatura tomando como base el periodo preindustrial

Fuente: IPCC c2019:6.

² Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza.

En la medida en que los ecosistemas se han ido degradando, afirman Román et al. (2018), estos han disminuido su potencial de suministrar servicios a los mismos niveles que en el pasado. Bajo esta aseveración la FAO (s. f.) señala a la deforestación, la degradación y la pérdida de la biodiversidad como algunos de los desafíos que están relacionados con el cambio climático.

2.2.3.1. Los impactos negativos asociados

Perú es uno de los países de América Latina que se verá mayormente afectado por las consecuencias de la variabilidad del clima a escala estacional e interanual, y particularmente por eventos El Niño (ENSO), resaltan Llerena et al. (2014), basados en el reporte del Informe Especial del IPCC de 1997.

Según Llerena et al. (2014), los bosques secos tropicales son sensibles a cambios en la temperatura y al cambio en la precipitación pluvial; cambios que, afirma, afectan a la productividad de la vegetación y la supervivencia, acentúan la presencia de sequías y prolifera la desecación e incendios.

Desde su Tercer Informe de Evaluación, el IPCC ha determinado cinco Motivos de Preocupación (MdP), con los que ha resumido los principales impactos y riesgos respecto de los distintos sectores y regiones; como consecuencias del calentamiento global hacia las personas, economías y los ecosistemas (IPCC c2019). Así, en su más reciente informe, se puede apreciar que los sistemas catalogados como únicos y amenazados; se encuentran próximos a un “nivel alto” de certidumbre, ante una posible transición de darse cambios en la temperatura de 1.0 °C a 1.5 °C, que significarían niveles altos de graves impactos y riesgos (Figura 5).

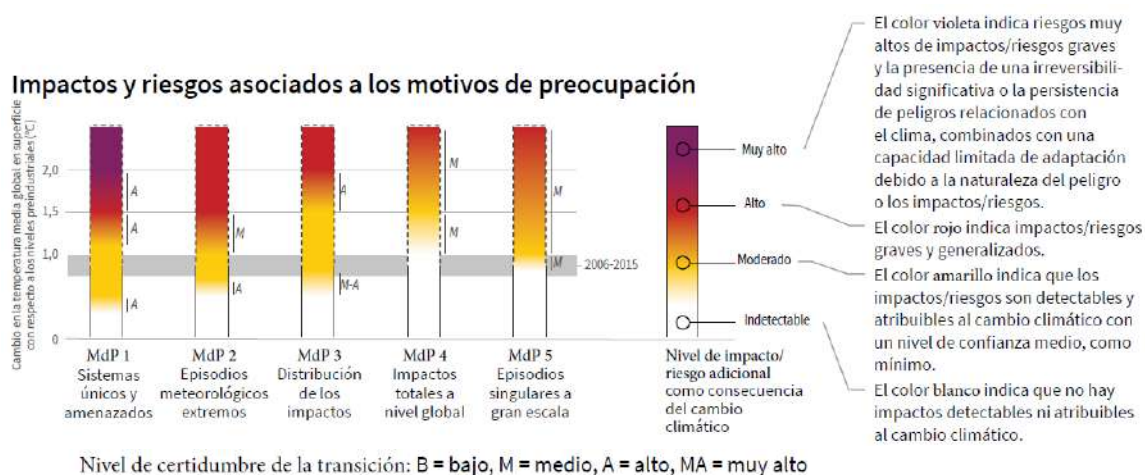


Figura 5. Influencia de los niveles de calentamiento global en los impactos o los riesgos asociados a los motivos de preocupación (MdP) abordados por el IPCC

Fuente: Adaptado de IPCC c2019.

2.2.3.2. Medidas de restauración

La degradación de ecosistemas y tierras son producto de prácticas no sustentables: el uso excesivo o inadecuado del suelo en prácticas agrícolas, el sobrepastoreo, la deforestación, el monocultivo, la minería, el uso indiscriminado de la quema, entre otros; misma que, sumada a las presiones ejercidas por el cambio climático, explican SERFOR et al. (2018), es un fenómeno de preocupación mundial y nacional. Por su parte, Alexander et al., citados por Román et al. (2018), señalan que los ecosistemas continuarán degradándose bajo la presión de mayores demandas si es que no se aplican estrategias preventivas y de restauración para mantener la salud e integridad de los ecosistemas.

En el Quinto Informe del IPCC (c2019), se señala que la restauración de los ecosistemas constituye una de las opciones con miras a reducir los riesgos para los ecosistemas naturales de adaptación, incluyéndola además como una de las opciones de mitigación.

Para Vetter, el otrora Director Ejecutivo del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), la necesidad de revertir la degradación de ecosistemas en las ecorregiones de costa, sierra y amazonía del Perú constituye un reto y oportunidad a la vez (SERFOR 2018).

La restauración agrupa seis principios: aumenta la integridad biológica en los ecosistemas y paisajes, es sostenible a largo plazo (pues se establecen sistemas autosostenibles y resilientes), se basa en conocimiento, beneficia y compromete a la sociedad (ya que proporciona servicios ecosistémicos), interactúa con el paisaje circundante (ya que fortalece la resiliencia del paisaje) y, además, contribuye a mitigar los efectos y reducir la vulnerabilidad del cambio climático (SERFOR 2018).

Hablar de restauración en los Bosques Secos Tropicales del norte del Perú, es para Cerrón et al. (2019), considerar una amplia gama de intervenciones a realizar; dado que está orientada por múltiples objetivos. Entre los lineamientos que se han establecido para la restauración, Román et al. (2018) sugieren que figuran como opciones sujetas a esta práctica:

- a. **Prevención y control**, ya sea mediante cortafuegos (franjas despejadas), manejo del ganado (para facilitar la regeneración), protección de la fauna silvestre (como polinizadoras que garantizarán

el aumento de regeneración natural) o prácticas de protección (a fin de evitar daños o invasión y remover barreras contra la regeneración).

- b. Manejo de la regeneración natural**, mediante reducción de competencia entre especies nativas y no nativas, raleo, cuidado de banco de semillas (para mantener la viabilidad, siendo que el suelo es la principal despensa), fertilización (y así optimizar la supervivencia y crecimiento), asistir a la lluvia de semillas (mediante perchas artificiales para aves), cuidado de especies “nodriza” (cuidado de individuos o remanentes del ecosistema original, que garantizarían crecimiento de otras especies nativas), manejo de pastizales, enriquecimiento (no solo en cantidad, sino en calidad con siembra de especies clave social y ecológicamente), zanjas de infiltración.
- c. Establecimiento de plantaciones**, de restauración (con especies nativas del lugar y así complementar la protección y regeneración natural), de protección (suelos, mantenimiento de fuentes y cursos de agua), de producción de otros productos diferentes a la madera (en áreas parcialmente degradadas).
- d. Sistemas agroforestales**, que contribuyen a mantener o recuperar la provisión de bienes y servicios.

2.2.4. La silvicultura en el manejo forestal

“El aprovechamiento forestal se considera como una de las primeras prácticas silviculturales con propósitos de manejar el bosque ...” (Valerio, citado por Guardia 2004). Para el SERFOR (2016), la silvicultura se define como el conjunto de técnicas que permiten el mantenimiento y regeneración del bosque y otras asociaciones vegetales forestales, a través de intervenciones en el establecimiento, la composición, la estructura y el crecimiento de la vegetación para atender mejor los objetivos del manejo.

El manejo forestal de un bosque aprovechado, explica el SERFOR (2016:19), “se basa principalmente en sistemas que favorezcan la regeneración natural y enriquecimiento del mismo, considerando tanto las especies actualmente comercializadas, como aquellas con potencial comercial”. Aunado a ello, resulta inherente hablar del plan de manejo forestal que, para Valerio y Salas, citados por Guardia (2004); se fundamenta entre conocer la ecología, los patrones que determinan la distribución de los árboles y las condiciones ambientales de su entorno.

Marcelo-Peña et al., citados por Cerrón et al. (2019), indican que, el 33 % de las especies de las plantas de los Bosques Secos Tropicales son endémicas (refiriéndose tanto a los bosques secos de la costa y al Bosque Seco del Marañón), este ecosistema; agregan, presenta numerosas especies con alto potencial para reforestación en zonas áridas y como estabilizadoras de suelos.

Por otro lado, según Arias (2005:2): “Mucho se ha avanzado en la silvicultura de plantaciones y cada vez más se cuenta con mayores conocimientos para la siembra y manejo de especies maderables nativas e introducidas que ya han sido probadas”. Sin embargo, existe un déficit de información silvicultural de las especies endémicas de los Bosques Secos del Marañón, por lo que se limita su empleo como parte de los sistemas productivos de la población; por ende, indican Cerrón et al. (2019), es recomendable realizar ensayos de propagación con especies endémicas de interés y de uso potencial para fines de restauración.

2.2.4.1. Parámetros silviculturales

“El crecimiento se manifiesta de diferentes maneras y considera la evolución de las distintas magnitudes dendrométricas” (Giménez y Ríos 1999:36). Estas pueden entenderse, señala Camacho (2000), como aquellas variables de interés a medir que conforman la estructura morfológica del árbol, y que son tomadas en cuenta según el objetivo de estudio. No obstante, detalla, siempre resultan útiles: el diámetro del árbol y su codificación (para evaluar la condición actual), así también, la altura (sea total o comercial), la posición del individuo (para el caso de una parcela), el diámetro de copa; entre otras, referidas a los atributos del árbol (posición con relación a la luz, forma de la copa, presencia de lianas, condición comercial o forma del fuste).

Así, por ejemplo, para el silvicultor, explican Daniel et al., citados por Nuñez (2011); la fotosíntesis es uno de los procesos fisiológicos del crecimiento de los árboles que más interesa, dado que se puede influir por el manejo de la iluminación solar de la copa, lo cual aumenta la tasa de crecimiento.

Si bien, el crecimiento de las especies de árboles está determinado por las propiedades del suelo y factores como la precipitación (Grijpma 1990). Ciertamente es también, como señalan Hasenauer y Monserud, citados por Cañadas et al. (2001), que las características de la copa de un árbol determinan su superficie foliar activa, origen básico de la producción bruta

de hormonas y fotosintatos, encargados a su vez de iniciar, controlar y mantener el crecimiento y desarrollo de los tejidos vivos

Por ello, la morfometría de un árbol a través de las variables de copa, explican Durlo y Denart, citados por Arias (2005), brinda una buena idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia, la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo en el rodal.

2.2.5. La dendrometría, sus implicancias y variables

La dendrometría “estudia la medición del árbol desde el punto de vista estático, incluyendo las técnicas de medición de los distintos componentes del árbol (diámetro, altura, corteza, copa, ramas, etc.), ya sea en pie o apeado” (Juárez 2014:2).

Juárez (2014) indica que, corresponde a la dendrometría tanto la determinación de la composición morfológica del árbol, resolviendo las variables básicas medidas en los árboles: diámetro normal, altura de fuste, espesor de corte y la cubicación teórica del árbol; como el estudio de la forma del tronco y los factores de los que depende. Así también, variados tipos dendrométricos, como el estudio de la forma de la copa y la arquitectura de la misma.

2.2.5.1. Tipos de medición

Las mediciones de las variables dendrométricas pueden ser obtenidas de tres maneras diferentes, y se definen del modo siguiente (Aldana 2008):

- a. Medidas directas**, están al alcance del hombre y pueden tomarse sobre el árbol: diámetro a la altura del pecho (Dap), diámetro de trozas, longitud de árboles derribados, número de anillos de crecimiento, grosor de la corteza, etc., es, en otras palabras, realizar una “determinación”.
- b. Medidas indirectas**, aquellas fuera del alcance del hombre, por lo que son tomadas mediante aparatos ópticos: altura, área basal, diámetro a alturas inaccesibles usando Reloscopio de Bitterlich, volumen de árboles en pie con el Pentaprisma de Wheller, etc.
- c. Estimaciones**, realizadas tanto para variables mensurables del árbol o de los rodales, fundamentándose en métodos estadísticos, que permiten economizar tiempo y reducir costos. Consistentes en medir

parte de la población y hacer inferencias para obtener resultado del todo, ya sea mediante curvas, ecuaciones, tablas, entre otros.

2.2.5.2. Errores en la medición forestal

Para Juárez (2014), todos los procesos de medida llevan asociados una cierta imprecisión, denominada error, que se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero; se deben a diversas causas, e identifica cuatro grupos:

- a. Equivocaciones**, debidos al factor humano, ya sea por dar lecturas incorrectas, inadecuado empleo del instrumento, anotaciones o error en los cálculos aritméticos.
- b. Errores aleatorios**, o “accidentales”, porque son inevitables y pueden deberse a causas imprevisibles como condiciones ambientales no constantes.
- c. Errores sistemáticos**, suponen la existencia de un sesgo en las mediciones, ya sea por instrumentos mal calibrados, la sensibilidad a las condiciones meteorológicas de algunos instrumentos o por imprecisiones en el método de selección de muestras.
- d. Error de muestreo**, asociado al método empleado para seleccionar las muestras, su magnitud es estimable a partir de la varianza de la población y del tamaño de la muestra.

2.2.5.3. Variables dendrométricas

a. Diámetro a la altura de pecho (Dap)

Para Juárez (2014), el diámetro (d), es la variable más habitualmente medida en los inventarios forestales, pudiendo, además, tomarse más de una medición a lo largo del fuste. Además, indica que, de todos, el denominado diámetro normal o diámetro a la altura del pecho “Dap” (fijado a 1.30 m sobre el nivel del suelo) es, probablemente, la medición más común en árboles en pie.

El diámetro a la altura de pecho (Dap), según Camacho (2000), es el diámetro de referencia que se mide sobre la corteza del árbol a 1.30 m del suelo. Sin embargo, pueden presentarse situaciones diversas, por lo que debe procederse como se observa en la Figura 6.

“En todos los casos en que la medición del diámetro no sea a 1.30 m, se debe anotar la altura a la cual se realizó” (Camacho 2000:11-12).

En cuanto a su medición, diversos autores coinciden en que la medición con cinta es mucho más precisa respecto al uso de forcípula (Galván et al. 2011). Si bien, como afirman, con el empleo de la cinta métrica se mide la circunferencia, es necesario dividir la lectura entre π (equivalente a 3.1416).

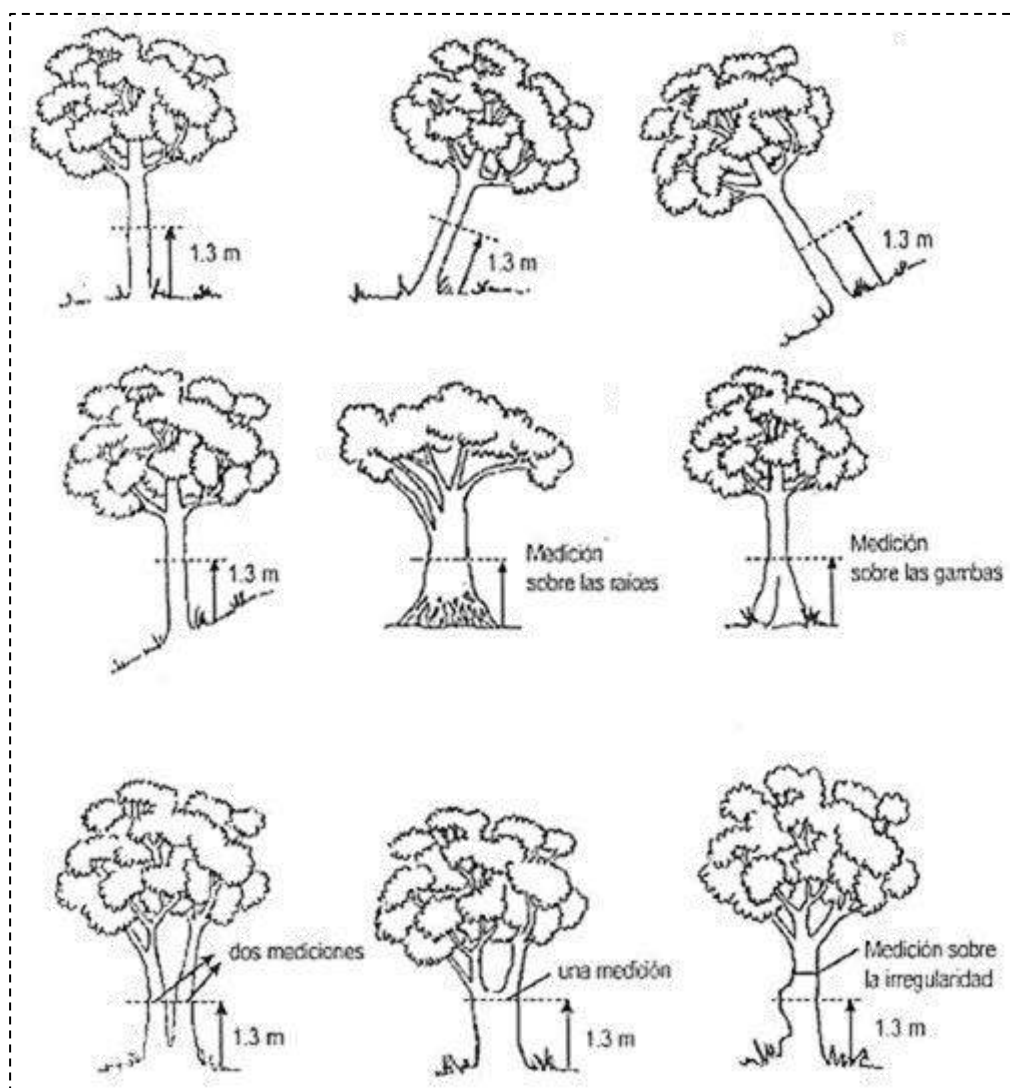


Figura 6. Localización del diámetro de referencia en árboles con diferentes formas de fuste

Fuente: Camacho 2000:12.

b. Diámetro de copa (Dc)

El diámetro de la copa refleja la dimensión del aparato fotosintético del árbol que está directamente relacionado con su capacidad de

crecimiento (Arias 2005:2). En tal sentido, afirma Camacho (2000:18), “representa una forma de definir el espacio de crecimiento del árbol”.

Su medición es empleada para calcular la superficie de la copa y el volumen de la misma, para determinados estudios. Así, por ejemplo, señala Galván, citado por Galván et al. (2011) la superficie de la copa es una variable determinística del crecimiento diamétrico de los árboles en el bosque tropical.

Entre los diversos métodos para estimar su dimensión, el más sencillo consiste en medir la proyección de varios puntos de su contorno o diámetros perpendiculares sobre el terreno; cuya medición se efectúa entre dos personas con una cinta métrica, reportando el valor en metros (Camacho 2000).

Juárez (2014) señala que la proyección vertical de la copa es relativamente compleja, dada la irregularidad que presentan y por las ramas adyacentes de árboles circundantes. No obstante, agrega, se asume que es equivalente al área de una circunferencia, y definida por el promedio de copa, puede ser calculado de distintas maneras:

- Promedio entre el diámetro máximo y mínimo.
- Promedio entre el doble del radio máximo y mínimo, desde el centro del fuste a la periferia de la copa.
- Diámetro medido al azar o sistemáticamente con referencia a un compás.

c. Altura (h)

En primer lugar, es de precisar, que la altura del árbol en pie (h), como tal, está referida a la distancia entre su “cima” (o ápice, parte más alta de la copa respecto a la prolongación del eje del tronco) y la zona de la base del árbol en contacto con el suelo (Juárez 2014).

Según Camacho (2000), debido a la dificultad para una medición precisa, no siempre es incluida entre las variables por medir de un árbol. No obstante, el registro de su medición es de importancia, ya que, como explica Juárez (2014); con esta variable, y la del diámetro normal, es posible estimar otras importantes variables del árbol individual y, por extensión también de la masa (volumen de madera, volumen de leña o biomasa).

Dependiendo del tipo de estudio, sugiere Camacho (2000), es necesario definir la clase de altura a medir: altura total, altura comercial del fuste (hasta la primera bifurcación o hasta un diámetro mínimo) y/o altura hasta la base de la copa.

Generalmente, según Alder y Synnott, citados por Camacho (2000); se recomienda la medición de la altura comercial (hasta la primera torcedura importante o hasta el inicio de las ramas), dado que es más fácil de obtener que la altura total y tiene una mayor correlación con el volumen comercial de madera.

En cuanto a su medición, Galván et al. (2011:12) señalan: “Las alturas se pueden medir de manera directa, mediante el escalamiento del árbol y empleando pértigas telescópicas o; indirectamente, empleando instrumentos simples o muy sofisticados, los primeros basados en principios geométricos y los segundos basados en principios trigonométricos”.

d. Área basal (g)

Para Imaña-Encinas (2011) es entendida como la superficie de cualquier corte horizontal hipotético realizado en el tronco del árbol. Se considera también como:

... uno de los parámetros particularmente importantes para la silvicultura como elemento indicador de la ocupación de un sitio, como componente del volumen del rodal que quizás incide más en la precisión de aquel, por encima aun de la altura y de los demás componentes (Lema 1985:186).

El área basal puede estar referida tanto al árbol, como a un rodal. En un árbol, está representada por la letra “g”, cuya unidad de medida será en centímetros o metros cuadrados; mientras que, para un rodal, representada por “G”, la unidad de medida obligatoriamente será en centímetros cuadrados. Su determinación de cálculo será en función del DAP o CAP, de acuerdo con las siguientes fórmulas (Imaña-Encinas (2011):

$$\begin{aligned}g &= DAP^2 * \pi/4 & g &= CAP^2/4\pi \\g &= DAP^2 * 0.7854 & g &= CAP^2 * 0.0796\end{aligned}$$

e. Área de copa proyectada (AC)

También llamada “área de cobertura”, corresponde al área ocupada por la proyección perpendicular de las copas de los árboles sobre un plano horizontal, y a veces sirve como medida de ocupación de un sitio o de su grado de espesura. Y aunque se calcula con base en los radios de copa (Lema 1985):

$$Ac = \pi \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right) / n$$

Aldana (2008) indica que, también puede medirse mediante el empleo de fotografías aéreas.

2.2.6. Correlación de las variables dendrométricas

Los árboles, indica Imaña-Encinas (2011) presentan características intrínsecas de crecimiento y de relación dasométrica entre las diversas variables dentro dasométricas.

Por lo que, cuando se cuenta con información acerca de dos o más variables relacionadas, explican Romahn y Ramírez (2010), es natural buscar un modo de expresar la forma de la relación funcional, una función matemática que defina de qué manera estén relacionadas las variables; la cual se consigue, agregan, a través de los métodos de correlación. Para Dicovski (2016), la correlación se define como la medida estadística que sirve para evaluar la intensidad de la asociación entre dos o más variables cuantitativas.

Empero, es necesario conocer también, aseveran Romahn y Ramírez (2010); la precisión con que se puede predecir el valor de una variable, si se conocen los valores de la o las variables con que está relacionada. Esto es, a través de los métodos de regresión, los cuales; indican, se usan para determinar la mejor relación funcional entre las variables.

2.2.6.1. Importancia de la relación entre el diámetro de fuste (DAP) y el diámetro de copa (DC)

Como argumenta Aldana (2008:293): “La estimación del crecimiento es una parte esencial para el manejo forestal”. Y en el manejo forestal, indican Hess et al. (2016), es necesario comprender las relaciones morfométricas. Dado que, como señalan Corvalán y Hernández (2009:1) “ ... la mayoría de los parámetros de tamaño del árbol y la razón de crecimiento de este

se encuentran altamente correlacionados, por ejemplo, diámetro, altura, tamaño de copa, volumen fustal, etc.”

Las relaciones de crecimiento entre las diferentes partes del árbol, aseveran Giménez y Ríos (1999); han sido ampliamente investigadas.

Para Zeide y Vanderschaaf, citados por Céspedes (2014), la relación alométrica DAP - altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Asimismo, para demostrar que el diámetro se incrementa a una tasa más rápida que la altura durante el crecimiento, según lo establecido por Henry y Aarsen, citados por Céspedes (2014).

La altura total del árbol es un parámetro que tiene una directa relación al Diámetro de copa, explica Malleux (1970); sin embargo, ésta muchas veces no tiene una estrecha relación con el volumen; por otro lado, su control o medición es muy laboriosa. Aunado a ello, Fairfield y Dubow, citados por Malleux (1970) señalan al Dap como el parámetro más adecuado para correlacionar con el Diámetro de copa.

Según Foli et al., citados por Galván et al. (2011); el diámetro de copa, otorga confiabilidad a los modelos de crecimiento. Así, explica Aldana (2008:177): “Cuando los árboles crecen libremente, la mayor parte de ellos manifiestan una relación lineal entre el diámetro de su copa ‘DC’ y su diámetro ‘d’ a 1.30 m ...”, razón que se constituye como el factor de competencia existente entre copas.

Así también, el estudio realizado por Guardia (2004) en las parcelas permanentes de muestreo de un bosque húmedo tropical en Costa Rica, el bosque Florencia; entre otros, tuvo como segundo componente, conocer el efecto del tratamiento silvicultural sobre la dinámica del rodal y de especies individuales así como el crecimiento en diámetro; cuyos resultados evidenciaron una correlación más significativa entre el incremento dimétrico y las características de la copa, así como de la luz recibida por la misma.

Dicho resultado, puede hallar explicación en base a lo descrito por Juárez (2014:79):

Para algunos árboles tropicales [...] el crecimiento en altura para varias especies se produce con un incremento de hasta 1 metro para cada centímetro de diámetro a 1,30 m. correspondiente a la

edad juvenil del árbol. Cuando los árboles adquieren más de 40 o 50 cm de DAP, el incremento en altura disminuye aproximadamente a 0,5 m por cada cm de DAP, evidenciando que el árbol se encuentra probablemente en la fase madura de crecimiento. En árboles adultos el crecimiento en altura tiende a estabilizarse hasta llegar a ser nulo, mientras el DAP continúa creciendo.

El crecimiento en diámetro, refiere Juárez (2014) es el aumento del diámetro de un árbol en un determinado período de tiempo, también denominado “crecimiento secundario”; puesto que, se concibe que “primero el árbol crece en altura y después en diámetro”. Este crecimiento, agrega, entre otros factores, es influenciado principalmente por su distribución espacial.

“La relación entre el diámetro de copa y el diámetro del árbol (d) es conocido como el índice de espacio vital y expresa cuantas veces es mayor el diámetro de copa que el diámetro del árbol” (Arias 2005:2).

2.2.7. Análisis estadístico: correlación y regresión lineal

“El tipo de correlación y la intensidad que existe entre pares de variables se pueden medir a través de distintos procedimientos” (Reguant-Álvarez et al. 2018:45).

Tabla 2. Posibilidades para calcular la relación según el tipo de variable en SPSS

Tipo de escala	Procedimiento para el cálculo de la relación	Gráficos
2 nominales	Chi cuadrado	Barras
2 ordinales	Correlación de Spearman	Barras
1 ordinal + 1 escalar no paramétrica	Correlación de Spearman	Diagramas de cajas y bigotes
2 escalares no paramétricas	2 escalares no paramétricas	Diagramas de cajas y bigotes Gráfico de dispersión
2 escalares	Correlación de Pearson	Dispersión

Fuente: Reguant-Álvarez et al. 2018:47

Como se observa en la Tabla 2, explican Reguant-Álvarez et al. (2018), los procedimientos van, desde el uso de Chi cuadrado como medida de asociación de dos variables de escala nominal, la correlación de Spearman para medir la asociación entre dos variables ordinales, una de escala ordinal con otra escalar, o

bien dos escalares no paramétricas; y por último, la correlación de Pearson, para medir la variación conjunta de dos variables escalares

2.2.7.1. Correlación lineal o correlación de Pearson

El análisis de correlación lineal o también llamado de Pearson, señala Dicoyskiy (2016), solo funciona cuando las variables estudiadas son continuas. Denominadas también variables escalares paramétricas, según Reguant-Álvarez et al. (2018); y que responden a una relación estadística que expresa una tendencia de asociación, la cual puede ser de causalidad o no.

Romahn y Ramírez (2010) las describen como datos bivariados, es decir, que matemáticamente se constituyen como pares ordenados denominados “X” e “Y”; valores que se relacionan por alguna regla de correspondencia, pudiendo ser estos: el peso y la altura de una persona, el diámetro y altura de un árbol, entre otros. Los cuales, vinculados, refiere Dicoyskiy (2016); permiten determinar el grado de correlación que poseen, cada una con una particularidad definida:

- **Variable dependiente:** representada por “Y”, es la variable que se predice o calcula.
- **Variable/s Independiente/s:** cuya letra de representación es “X”, es la o las variables que proporcionan las bases para el cálculo; y suelen ocurrir antes en el tiempo que la variable dependiente.

No obstante, la existencia de una probable correlación entre dichas variables, considera tener en cuenta previamente dos aspectos fundamentales:

- a. **El diagrama de dispersión.** Que es empleado para saber si existe o no correlación lineal en datos bivariados de una manera rápida, argumentan Romahn y Ramírez (2010), ordenando los datos en un sistema de coordenadas, X en el eje horizontal e Y en el vertical (Figura 7).

El diagrama de dispersión permite saber si la correlación lineal existente es baja, alta o no hay correlación; si los puntos correspondientes a los valores de las variables se atraen o se dispersan mutuamente con relación a los puntos o valores que formen una línea recta (la cual corresponderá a la correlación lineal perfecta) sostienen Romahn y Ramírez (2010). Asimismo, mencionan que el hecho de no existir una correlación lineal, no quiere decir que no exista otra correlación no lineal, y dependiendo de la dispersión de los datos será fuerte o baja.

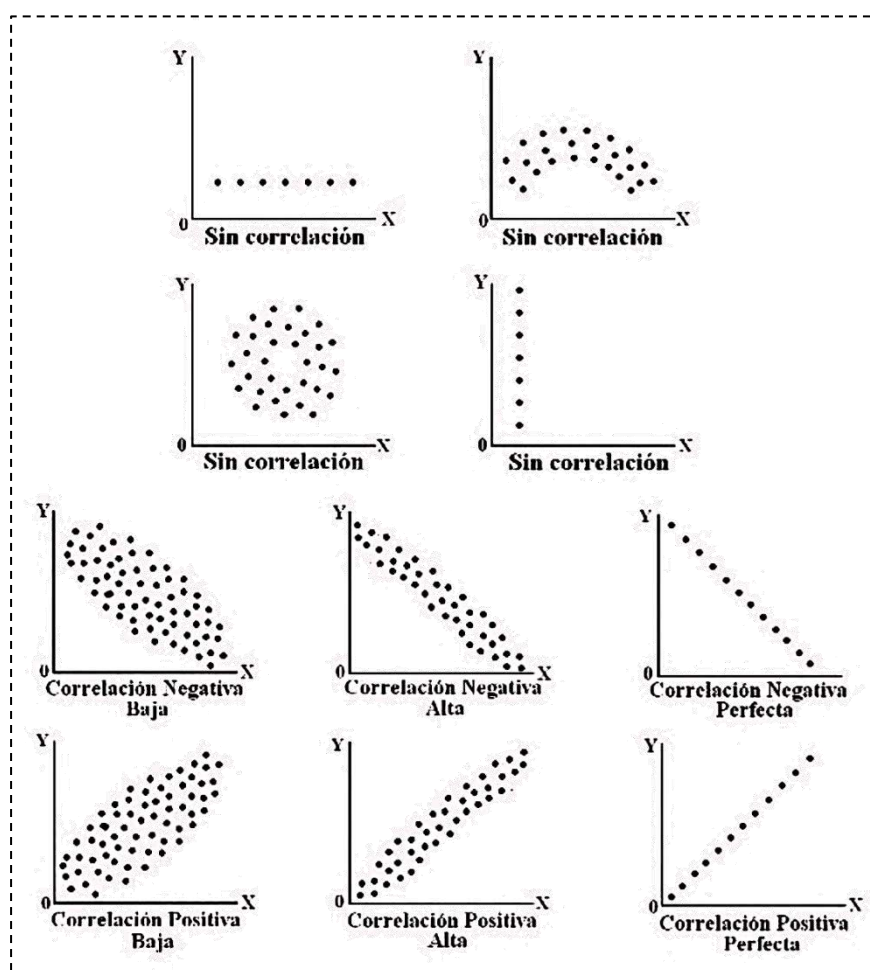


Figura 7. Diagramas de dispersión con tipos de correlaciones lineales

Fuente: Romahn y Ramírez 2010:182

- b. El coeficiente de correlación lineal.** Denominado “coeficiente de Pearson”, es el índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas (Dicovski 2016); particularidad para llamarlo también el “coeficiente paramétrico”, como indican Lizama y Boccardo

(2014). “Se simboliza con la letra griega rho (ρ) la medida paramétrica o con r el estimador” (Romahn y Ramírez 2010:180).

Definido por Kart Pearson en 1900, explica Vargas (2007), describe la intensidad de relación entre dos conjuntos de variables, no proporcionando necesariamente una medida de la causalidad entre ambas; también se le denomina “ r de Pearson” o “coeficiente de correlación producto-momento de Pearson”. Es posible su cálculo mediante la fórmula matemática siguiente (Romahn y Ramírez 2010):

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2] * [n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

En concordancia con Romahn y Ramírez (2010:181):

[El coeficiente de correlación lineal (r), tendrá siempre un valor entre -1 y +1, siendo los valores de +1 y -1 para la correlación perfecta, positiva o negativa, respectivamente. La correlación será alta cuando el valor de “ r ” se aproxime a +1 o -1, y será baja cuando se acerque a cero (0), que es cuando no existe correlación (Figura 8).

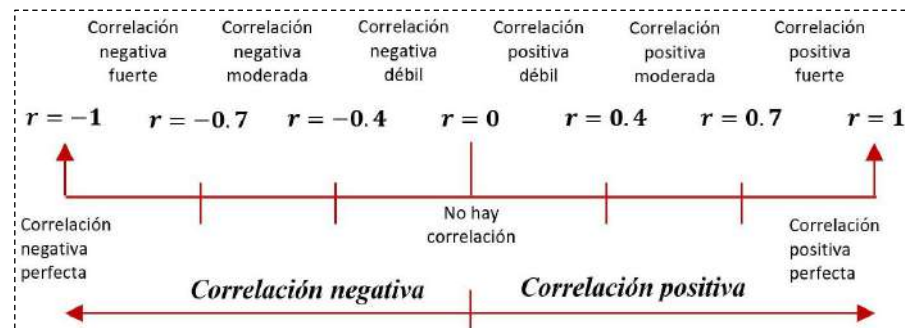


Figura 8. Intensidad y dirección del coeficiente de correlación

Fuente: Vargas 2007:150.

2.2.7.2. Regresión lineal

Para Romahn y Ramírez (2010:203), “uno de los objetivos primarios del análisis de regresión consiste en hacer predicciones, y para lograr este objetivo se requiere encontrar el modelo de regresión que mejor se ajuste a los datos observados”.

Vargas (2007), refiere que, la relación fija para un conjunto de datos de un estudio, está caracterizada por una ecuación de predicción la cual es denominada “ecuación de regresión” (lo que equivale a un modelo

determinístico) o por un “modelo estocástico” (llamado también probabilístico). El primero de ambos, supeditado necesariamente a una relación de causa - efecto.

Así, cuando el investigador quiere determinar el efecto de una variable sobre la otra (causa-efecto), para Castañeda et al. (2010), el análisis más adecuado sería el análisis predictivo utilizando una regresión lineal.

El término regresión fue introducido por Francis Galton en su libro *Natural inheritance* de 1889, refiere Dicovski (2016); también indica que sus estudios, basados en la altura de padres e hijos, le permitieron determinar que la altura de hijos cuyos padres eran altos *regresaba* a la media. Sin embargo, señala Vargas (2007), el término regresión, utilizado para predecir una variable en función de otra; como tal, no implica que se esté estudiando si se produce una regresión a la media. Por otro lado, refiere, podemos encontrar (según el número y naturaleza de las variables, además del tipo de estudio) dos modelos de regresión: uno simple y el otro múltiple, tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Clasificación de modelos de regresión

Fuente: Adaptado de Vargas 2007.

En consecuencia, resaltan Romahn y Ramirez (2010:186): El ingeniero forestal desea a menudo determinar la ecuación de mejor ajuste, a fin de expresar la relación entre los valores de las variables, para lo cual cuenta inicialmente con diversas relaciones llamadas ecuaciones de predicción, cuya forma general es:

- Lineal simple : $y = a + bx + E$
- Polinomial : $y = a + bx + cx^2 + E$
- Exponencial (no lineal) : $y = ae^{bx} + E$
- Potencial (no lineal) : $y = ax^b + E$

Donde:

y = variable dependiente.

a, b, c = coeficientes de regresión.

x = variable independiente.

E = Un error aleatorio que hace que la relación no sea perfecta.

e = Base de los logaritmos naturales.

Los tipos de regresión más comunes entre dos variables, aduce Dicovski (2016), son las del tipo polinómico como la regresión: lineal, cuadrática y cúbica. La primera regresión, agrega; genera una recta y las otras, diferentes tipos de curvas. También indica que, muchos otros modelos de regresión se pueden usar con dos variables, como la logarítmica, inversa, potencial y la exponencial. Aunado a ello, Romahn y Ramirez (2010:186) señalan que, las ecuaciones de predicción no lineales pueden transformarse también en lineales por medio del uso de logaritmos u otras transformaciones.

Lo importante, según Dicovski (2016), es elegir el modelo que mejor se ajuste a los datos. No obstante, la ecuación de regresión lineal, precisa, es la más utilizada y fácil de estimar, ya que representa a la ecuación que define la relación lineal entre dos variables. Dicha aseveración la respaldan también Benítez et al. (2003), tras determinar que la ecuación de regresión lineal simple había resultado ser el modelo más adecuado al calcular valores del diámetro de copa de árboles a partir del diámetro normal ($d_{1.30}$); bajo la forma: $y = b_0 + b_1x$.

Si bien, la notación original incluye un error aleatorio " ε_i " o " E " (Vargas 2007, Romahn y Ramírez 2010 y Dicovski 2016). Se asume que su valor es igual a cero, como lo menciona Dicovski (2016:89): "una propiedad es que la esperanza de los errores vale cero (0), también el promedio de los mismos, así como la sumatorias; además, que éstos, en unidades muestrales, se distribuyen de manera normal". Ello implica, señala Vargas (2007), que las observaciones de " x " no contienen información sobre el valor esperado de ε_i , para el primer postulado; y que la distribución de los errores es simétrica (media igual a cero), para la última afirmación.

Para el cálculo de la regresión, es necesario calcular el valor del coeficiente b_0 y b_1 (coeficientes de regresión) bajo las fórmulas siguientes (Dicovski 2016):

$$b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Donde, “ n ” es el tamaño de la muestra y “ \bar{x} ” e “ \bar{y} ” equivalen al promedio de los valores para las variables independiente y dependiente respectivamente.

2.2.8. La Teledetección en el ámbito forestal

Para Koch (s. f.), hablar de teledetección y sus sensores, es referirse a todos los instrumentos aéreos y vía satélite diseñados para la observación de la Tierra; comprendiendo desde la fotografía aérea analógica hasta los instrumentos digitales por satélite, así como los radares de apertura sintética (SAR) y los sistemas optoelectrónicos³.

El uso de sensores remotos, independientemente de la plataforma utilizada (satélites, aviones o drones), indican Sánchez et al. (2016); proporcionan un método para generar detallada información, explícita espacialmente, sobre biomasa forestal dado su potencial para suministrar información en un amplio rango de escalas temporales y espaciales.

Empero, como señala West, citado por Torres-Sánchez et al. (2015) en un intento de obtener información útil para el monitoreo de plantaciones, los datos obtenidos por teledetección con aviones pilotados y satélites no suelen cumplir los requisitos técnicos para captar características tridimensionales de los árboles. Contrario a ello, explican Mejía y Vásquez (2018:1): “Cubriendo mucha superficie en poco tiempo, los drones nos pueden ayudar a realizar una planificación acertada sobre bosques y plantaciones”. Es más, como nuevas tecnologías, su uso no pretende reemplazar a las metodologías convencionales, por el contrario, alegan Mejía y Vásquez (2018), ayudan a gestionar de forma más efectiva los procedimientos habituales.

³ La mayoría de los sensores remotos ubicados en satélites actualmente, usan sensores electro-ópticos. Estos sensores son detectores electrónicos fotosensibles que crean una señal eléctrica proporcional a la cantidad de energía electromagnética que reciben (von Martini s. f.:7)

2.2.8.1. La fotografía aérea desde sus orígenes

Entre 1830 y 1840 Daguerre, desarrolló en Francia la primera fotografía práctica y construyó la primera cámara. Y en 1858, también en Francia, se tomó la primera fotografía aérea desde un globo aerostático (Schreuder 1963).

En cuanto a los inventarios forestales, refiere Nyysönen (1962); éstos se realizaban enteramente desde tierra, sin embargo, desde hace unos 40 años, se viene prestando interés a las posibilidades que ofrece la fotografía aérea. Por otro lado, Schreuder (1963) menciona que, se cuenta como el primer caso que haya sido registrado; a 1887 como el año en el que un ingeniero forestal alemán aplicara las fotografías aéreas por primera vez a la dasonomía.

Durante la Primera Guerra Mundial, Moore desarrolló en 1915 la primera cámara aérea, comenzando así; resaltan Lara y Chamorro (2018) el interesante camino de avance en las técnicas de fotografía aérea. Según Ruiz (s. f.), los drones tienen sus orígenes en la primera guerra mundial, empleados como tal, en actividades militares; no obstante, debido a la capacidad y versatilidad de sus vuelos; con el tiempo han pasado a convertirse en herramientas tecnológicas de diversos sectores.

Sin embargo, para Degiorgis y Solomon (2018), en la persona de Julius G. Neubronner, hijo de un farmacéutico, quien cultivara una curiosa pasión por la fotografía; es en quien se puede encontrar a la primera persona que intentó ver el mundo a vista de pájaro, relatando lo siguiente:

En 1907, patentó el diseño de una cámara que se podía conectar a las palomas y tomaría fotografías automáticamente durante su vuelo para rastrear su viaje. A pesar de ser utilizado para una amplia gama de fines recreativos, científicos, de prensa y militares, el éxito de la cámara solo duró unos pocos años, hasta que métodos técnicamente más avanzados lo superaron, dejando a Neubronner y sus palomas enterrados en la historia. Sin embargo, su invención contribuyó al desarrollo de la fotografía aérea y puede considerarse el predecesor de los drones actuales (Figura 10).

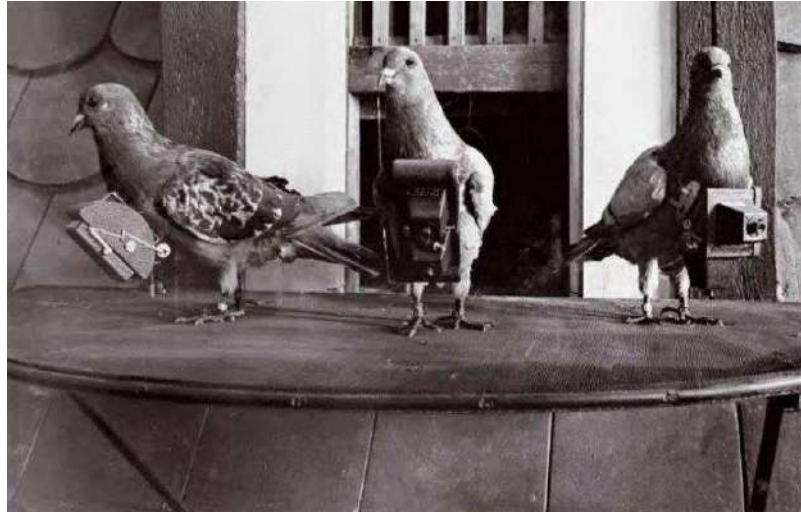


Figura 10. Palomas con cámaras en una exposición alemana, 1909

Fuente: Perry 2017.

2.2.8.2. Silvicultura de precisión mediante RPAs

El principal logro que se le atribuye a la silvicultura de precisión es que permite mejorar el proceso forestal, no solo compilando información, sino utilizándola para tomar mejores decisiones y más transparentes (Sarre 2001). De esta manera, explica Ruiz (s.f.), los silvicultores pueden realizar acciones de monitoreo, detección y control de problemas asociados con sus plantaciones; así como gestionar inteligentemente sus cultivos.

Tal precisión en el campo de la silvicultura es posible gracias al uso de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA), conocidos comúnmente como drones; y calificados según Roldán et al. (2017), como la nueva herramienta dentro del clásico esquema de la teledetección, dada su flexibilidad operacional, simplicidad e inmediatez en captura, alta calidad y resolución de las imágenes, así como por su economía y seguridad. Los drones, empleados en el estudio de este campo, relata Ruiz (s. f.), están equipados con sensores y cámaras capaces de detectar la reflectancia que emite la superficie terrestre, para luego decodificarla y convertirla en imágenes o en informes detallados de acuerdo a las necesidades y requerimientos. Se conforma así, lo que la Norma Técnica Complementaria de la Dirección General de Aeronáutica Civil de nuestro país denomina como el Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs).

Como tal, se tratan de evaluaciones indirectas. Un ejemplo de método indirecto aplicado a la dasometría, es la evaluación de la estructura de un

área forestal mediante el empleo de una fotografía aérea (Juárez 2014). En los bosques y plantaciones, es posible detectar, mediante cámaras multispectrales, el vigor y crecimiento; así como la detección precoz de plagas para su tratamiento, cantidad de biomasa y zonas de limpia para evitar incendios forestales o captura de Carbono (Mejía y Vásquez 2018). Para Aldana (2008), es posible el empleo de fotografías para la medición de la altura de un árbol sin derribarlo; así también, sugiere la medición de sus copas mediante la toma de fotografías aéreas, dada la complejidad de su estudio, al tener que realizar proyecciones sobre el suelo. Por otro lado, respecto a la relación existente entre los parámetros DAP (Diámetro a la altura del pecho) con el Diámetro de copa del mismo árbol, Malleux (1970) sostiene que su determinación adquiere singular importancia en el trabajo con fotografías aéreas para fines de evaluación cuantitativa de los rodales o bosques en general.

2.2.8.3. Componentes de un RPAs (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia)

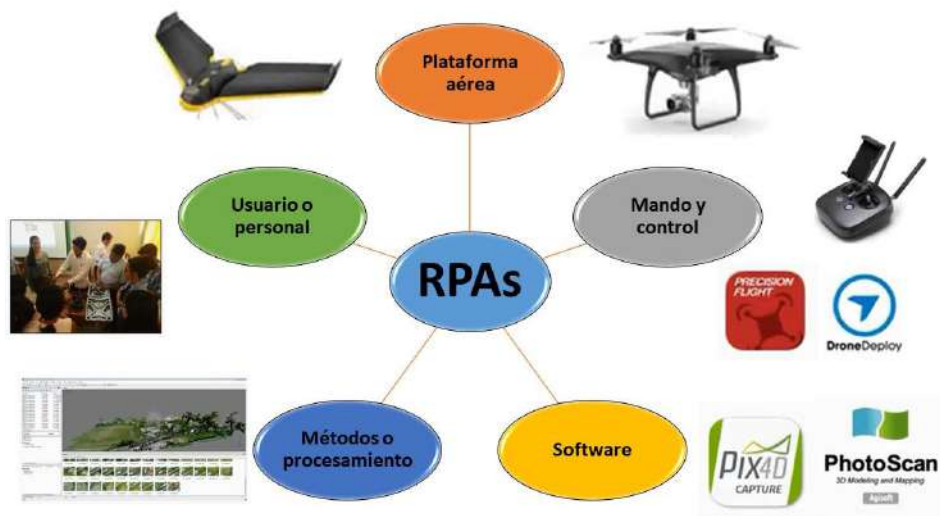


Figura 11. Componentes de un Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)

Fuente: Adaptado de Bravo 2018.

Como se aprecia en la Figura 11, un RPAs (Sistema de Aeronave Pilotadas a Distancia) se compone de: una plataforma aérea (drones o RPA), pudiendo ser de dos tipos (ala fija y multirroto); un mando y control, este segundo que corresponde al tipo de programa empleado para realizar el control del dron; el software, utilizado para el proceso del vuelo

automático o procesamiento de fotogrametría; los métodos o procesamiento, correspondiente a la metodología a usar para la obtención de los datos, como los son, datos de un modelo digital de terreno (MDT), modelo digital de superficie (MDS), ortomosaico y nube de puntos densa según la clasificación del terreno; los usuarios o personal, que corresponden a las personas en capacitación constante respecto a SIG, teledetección, fotogrametría, drones, entre otros usos que se pueden sacar a partir de la información obtenida (Bravo 2018).

2.2.8.4. Tipos de drones o RPA

Una clasificación generalizada de Smart Flight (2016) sugiere que, los drones se diferencian según su peso y utilidad como: de uso recreacional (hasta 2 kg), uso civil profesional (de 2 kg hasta 25 kg), investigación y militar (de 25 kg hasta 150 kg) y sólo de uso militar (aquellos de más de 150 kg).

Sin embargo, es de precisar, que los drones o RPA (Aeronaves Pilotadas a Distancia) también los clasifican en función a tres criterios (Red Escuelas 2018):

- a. **Según su uso**, aunque en un principio estaban destinados únicamente al uso militar, ya se encuentran disponibles para el uso civil. Y si bien, la mayoría están destinados al uso por parte de aficionados, cada vez es mayor la producción de modelos que tienen como destino un uso comercial, como puede ser la agricultura (Figura 12).

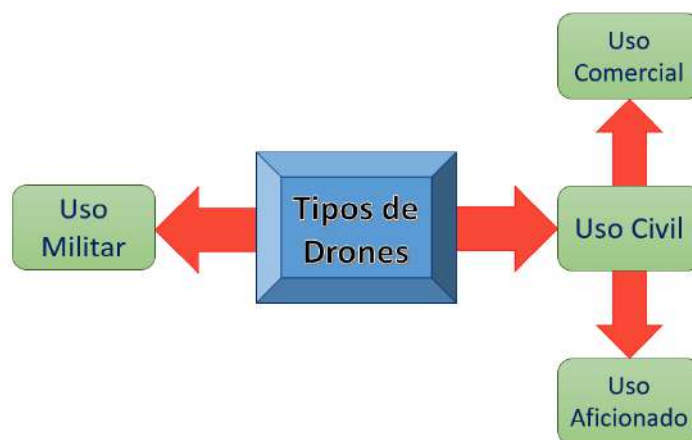


Figura 12. Drones según su uso

Fuente: droneymas.es, citado por Red Escuelas 2018.

- b. **Según su tamaño**, correspondiente de una clasificación legal se agrupan según su peso vacío en: pequeños (hasta 10 kg), medianos (entre 10 y 150 kg) y grandes (más de 150 kg).
- c. **Según su funcionamiento**, según el principio del funcionamiento, se conforman dos grupos: los llamados de ala fija (parecidos a un avión) y los llamados de ala rotatoria (que tienen hélices dispuestas en forma axial, como los helicópteros y multirrotores), como muestra la Figura 13.



Figura 13. Drones de tipo ala fija y multirrotores

Fuente: Adaptado de Oropeza 2019

Entre las ventajas, se tiene que los de ala fija tienen mayor autonomía y desarrollan mayores velocidades que los de ala rotatoria; en consecuencia, cubren mayores áreas. Sin embargo, tienen la desventaja de que el lanzamiento debe realizarse mediante un sistema de lanzaderas y que el aterrizaje tampoco reviste una tarea sencilla.

En cambio, los de ala rotatoria permiten que tanto el despegue como el aterrizaje se hagan en forma vertical; además, con la posibilidad de poder volar a un punto fijo y a velocidades muy bajas, que en combinación hace que éstos sean más maniobrables y su precisión de vuelo sea mayor. Son razones por la que los drones multirrotor sean más populares que los demás sistemas. Además, dentro de los multirrotores se pueden encontrar tricópteros, quadricópteros, hexacópteros y octacópteros, de acuerdo con la cantidad de motores y hélices que utilicen para su sustentación en el aire (Tabla 3).

Tabla 3. Principales características de los drones según su funcionamiento

Multirrotores
- Objetivos pequeños y delimitados.
- Rapidez despegue y versatilidad.
- Vuelo estático, baja estatura.
- Facilidad de manejo.
- Tiempo operativo: 25 a 35 min.
Alas fijas
- Áreas mayores
- Mayor altura y velocidad de vuelo
- Mayor tolerancia a vientos
- Tiempo operativo: 45 a 60 min.

Fuente: Adaptado de Red Escuelas 2018.

Aunque también los hay mixtos (Smart Flight 2016), que según Oropeza (2019), se incluyen en la categoría de ala fija, ya que su planificación de vuelo la realizan como un equipo de dicho tipo; mas sus operaciones de aterrizaje y despegue (las más críticas de la aeronave) las realiza como uno de ala rotatoria, generando un gran beneficio en las actividades a desarrollar (Figura 14).



Figura 14. Drones mixtos (multirrotor - ala fija)

Fuente: Adaptado de Smart Flight 2016 y Oropeza 2019.

2.2.8.5. Sensores de un RPA (Aeronaves Pilotadas a Distancia)

“El sensor como su nombre lo indica es un elemento ‘sensible’ dentro de la cámara, aquello sobre lo cual se proyecta la luz dibujando una imagen que representa lo que la cámara ve” (Vázquez y Backhoff 2017:17).

Según el CONACYT (2016), con los drones se pueden utilizar diferentes tipos de sensores; desde aquellos que obtienen imágenes RGB convencionales, pasando por imágenes multiespectrales, hasta llegar a las imágenes LIDAR.

No obstante, para García (2014), la elección va condicionada por parámetros como: **resolución espacial**, referida a la dimensión de la parcela más pequeña que el sensor es capaz de captar; **resolución espectral**, referida al número de bandas con que está dotado el sensor; **resolución temporal**, determinada por la periodicidad con el que los distintos sensores realizan sistemáticamente observaciones de un mismo punto de la tierra; y **resolución radiométrica o rango dinámico**, que determina la capacidad del sensor para captar la energía procedente de la tierra, es decir, su sensibilidad.

En relación al espectro electromagnético (ente vinculado a la resolución espectral), García (2014), menciona que, éste aporta información sobre diversas características de la superficie terrestre (en función del rango de longitudes de onda que sean consideradas). Si bien, como explican von Martini et al. (s. f.), el espectro continuo se subdivide en algunos tipos de energía electromagnética como: rayos x, rayos ultravioletas (UV), visibles, infrarrojo (IR), microondas y ondas de radio; agrega también que, siendo la luz del sol la fuente más común usada en teledetección, solo una pequeña porción es de interés (Figura 15); es decir, las longitudes de onda en las que la mayor parte de luz solar se concentra: las bandas que van desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR), que además poseen longitudes de onda entre 0.2 y 0.4 micrómetros (μm).

Son, en breves palabras, las ondas electromagnéticas de las que hacen uso los sensores de tipo pasivos. Estos sensores utilizan diferentes longitudes de onda como son: visible ($0.4 \mu\text{m} - 0.75 \mu\text{m}$), infrarrojo cercano ($0.75 \mu\text{m}-1.5 \mu\text{m}$) e infrarrojo termal ($3 \mu\text{m} -12 \mu\text{m}$) (Cracknell, citado por Espinosa 2017).

No obstante, teniendo en cuenta que la teledetección también se desarrolla mediante el empleo de sensores activos (los que cuentan con fuente de energía propia); se utilizan también las regiones de microondas y ondas radio del espectro electromagnético (Cracknell, citado por Espinosa 2017).

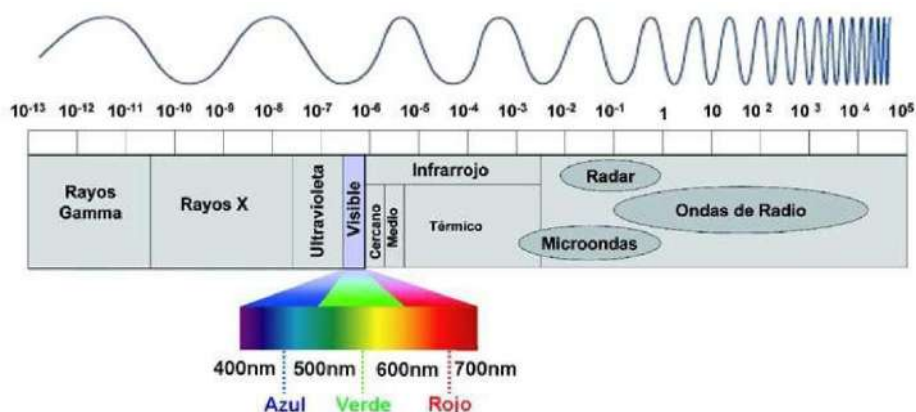


Figura 15. Espectro electromagnético

Fuente: Oñorbe 2016:17.

En función a la región visible del espectro, identificada con los colores rojo, verde y azul; mejor conocida como RGB (por sus iniciales en inglés: Red - Green - Blue); von Martini et al. (s. f.:2) explican lo siguiente:

La luz visible, la porción del espectro que puede ser detectada por el ojo humano, también se encuentra entre el UV y el IR. La banda del visible se extiende de 0.4 a 0.7 micrómetros. La luz azul se encuentra cerca de la región de 0.4 μm y la luz roja cerca de los 0.7 μm . Justo sobre la región del rojo se encuentra la banda del infrarrojo cercano (NIR). [...] Esta región del infrarrojo cercano, aunque es indetectable por el ojo humano, puede ser detectada por sensores artificiales y es muy importante en la percepción remota ...

Las cámaras en color tradicionales, afirma Oñorbe (2016), proporcionan tres bandas de información por cada imagen (rojo, verde y azul); las cuales tratan de imitar el proceso de visión del sistema humano y trabajando dentro del estrecho margen del espectro electromagnético “visible” con longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros (nm); por lo que existen gran cantidad de tipos de cámaras digitales (RGB) de alta definición y la elección de una u otra dependerá del tipo de trabajo a realizar. En consecuencia, y por las razones expuestas anteriormente, en cuanto a los

sensores para montaje en un RPA, indica Ruiz (s. f.), los más utilizados en estudios del campo de la silvicultura de precisión son:

- a. **Sensor visual:** Una cámara de baja distorsión (RGB) de 18.4 megapíxeles efectivos dotada de un sensor tipo CMOS⁴, que se utiliza esencialmente para realizar imágenes y cartografía aérea, hacer fotogrametría y reconstrucción 3D, realizar conteo o censo de plantas, ejercer labores de vigilancia, y adelantar trabajos de topografía, así como estudios de la tierra. Mediante este sensor se puede saber el índice de nacimiento y el índice de crecimiento de las plántulas.
- b. **Sensor multiespectral:** Es un sensor de alta definición, de 18.4 mega píxeles efectivos y con un rango de longitud focal que oscila entre los 10 y 18 milímetros. Permite realizar una medición detallada del estado de salud de las plantas. Evalúa la calidad del agua de la cual se nutre el cultivo, calcula el índice de vegetación y realiza el conteo o censo de plantas. Con su uso es posible analizar el cultivo en detalle, hasta el punto de poder determinar –en caso de daño-, la razón que lo está ocasionando (plagas, hongos, condiciones físico químicas o condiciones ambientales).
- c. **Sensor Térmico infrarrojo:** Es una cámara de 640 x 512 píxeles efectivos, que se utiliza prácticamente para medir temperaturas de la superficie, y a través de ello, identificar fuentes de agua y la temperatura de las mismas; y detectar puntos calientes dentro de los cultivos para evitar incendios y posteriores daños.
- d. **Sensor Lidar:** Es un sensor de corto alcance, de 270 grados de telémetro laser de digitalización que se usa esencialmente para hacer modelado digital 3D y para verificar los niveles de crecimiento de las plantas.

Gracias a que realiza un barrido laser telemétrico puede penetrar a través de vegetación espesa para realizar mediciones de altura de las plantas, calculando los datos de la recopilación de información de

⁴ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor o, en español, Semiconductor Complementario de Óxido Metálico) es un tipo de tecnología con que cuentan algunos sensores y se encuentra en las cámaras más actuales y la mayoría de las profesionales. Tiene como características: un mejor desempeño en una estructura más simple, sin necesidad de más equipo y menos sensibles a la luz, pero con un consumo mucho más bajo de energía, haciendo que sean más económicas. En contraposición, los hay sensores del tipo CCD (Charge Coupled Device o, en español, Dispositivo de Carga Acoplada), en cuanto a calidad de la imagen, en el pasado ofrecían la mejor, pero con el tiempo, las CMOS han alcanzado dicha calidad por lo que en la actualidad la mayoría de las cámaras usan este tipo de sensores (Vázquez y Backhoff 2017).

distancia entre la copa de la planta y hasta 30 centímetros por debajo del suelo de ser necesario.

Es un sensor capaz de obtener y recopilar información de todas y cada una de las plantas que conforman un cultivo, lo que asegura un margen de confiabilidad del 99.9 %. También mide los espejos de agua.

- e. **Sensor hiperespectral:** Es un sensor muy potente que posee un VNIR (Visible and Near-Infrared) integrado, un rayo de luz que puede calcular los índices de vegetación, el nivel nutricional y la composición de minerales. Se utiliza ampliamente en mediciones del vigor de la planta, evaluación de la calidad del agua y cálculo de índices de vegetación, así como estudios de la superficie terrestre. Se usa para investigación y desarrollo, ya que permite una detección espectral completa.
- f. **Sensor NDVI:** Este sensor permite divisar enfermedades de las plantas que no son perceptibles a simple vista, también brinda información sobre su vigorosidad. Con este sensor es posible hacer una radiografía completa del cultivo y cada una de las plántulas o árboles.

2.2.8.6. Aplicaciones específicas de los drones en el sector forestal

Si bien, como sostiene Pérez (2012:172): “La Silvicultura de Precisión (SP), es una de las últimas manifestaciones de la aplicación de los avances de la ciencia y la tecnología”. No obstante, afirma que ésta deriva del concepto de la Agricultura de Precisión (AP), desarrollado en los años 90's, también conocido como Manejo del Sitio Específico (MSE).

Los principios de la Agricultura de Precisión han sido aplicados a las plantaciones forestales (Pérez 2012), por lo que los productos obtenidos con el uso de drones y sus sistemas pueden resultar comunes al momento de revisar diversas fuentes de información. García (2014) señala que, las masas forestales se ven sometidas a una serie de factores de tipo físico, químico y biológico, peligrando su estabilidad y conservación a lo largo del tiempo; por lo que resulta necesario caracterizar dichos peligros para asegurar una gestión forestal sostenible en el tiempo, entre los que detalla:

- Deforestación.
- Incendios forestales y capacidad de recuperación.

- Estabilidad de laderas.
- Erosión y degradación de suelos.
- Prácticas agrícolas (por ejemplo, quemado de rastrojos) y sus efectos sobre los sistemas forestales.
- Variación de la diversidad biológica.
- Estado fitosanitario.

Para Mejía y Vásquez (2018:35), “las aplicaciones más comunes de drones al área forestal, provienen de la necesidad de inventario y manejo de las áreas forestales tanto naturales como plantadas” (Figura 16). Por lo que los drones y su sistema implementado en conjunto:

- Apoyan visual, digital y analógicamente como herramienta de exploración, evaluación, zonificación y monitoreo forestal.
- Ayudan a identificar coberturas de uso (áreas), también identificación de especies y conteo (por forma, tamaño, textura, copa).
- Se constituyen como una fuerte herramienta de gestión del Manejo Forestal Sostenible y la conservación de la biodiversidad.
- Son una herramienta altamente efectiva para gestionar Ordenamiento Territorial Ambiental, paisajismo, caracterización de bosques amazónicos.
- Son una tecnología limpia, no invasiva, consumo energético apropiado para la actividad.

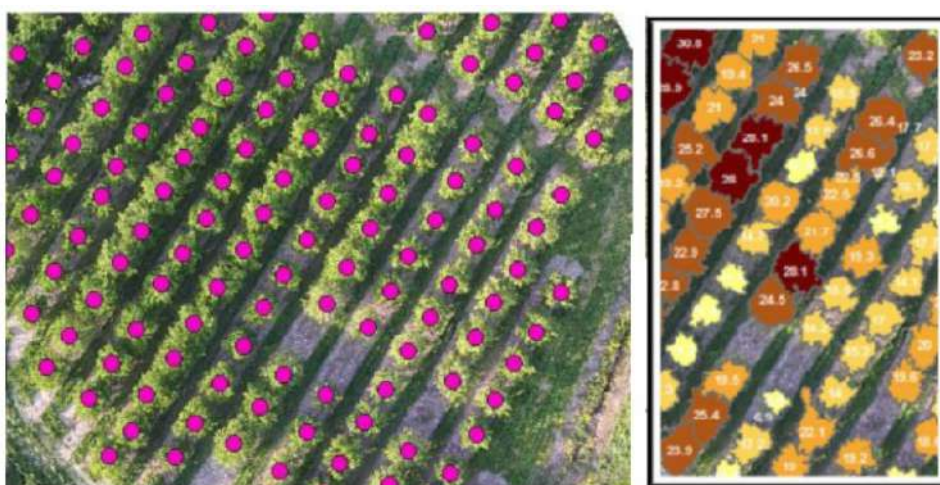


Figura 16. Conteo y determinación del volumen de copa de las plantas a través del mapeo aéreo con drones

Fuente: Ricardo Melchiori, citado por Red Escuelas 2018:22.

- Contribuyen a la restauración forestal, cálculo de Carbono, biomasa.

Algunas de sus aplicaciones al sector forestal son descritas del modo siguiente:

- a. Redescubrimiento de los bosques**, para conocer los bosques ya sean naturales, plantaciones o explotaciones, a fin de gestionarlos de una manera más eficiente; controlando el crecimiento y el vigor de las masas e inventariando su fauna (Mejía y Vásquez 2018).
- b. Inventario y planificación**, realizando diferenciación entre especies en grandes extensiones de forma precisa e inequívoca, rápida y sencilla; lo que permite ver el estado general para una mejor planificación de los trabajos a realizar como: podas, entresacas, limpiezas y plantaciones (Mejía y Vásquez 2018).
- c. Respecto a los incendios**, Mejía y Vásquez (2018) sostienen que dependiendo del tipo de bosque, se puede cuantificar la cantidad de biomasa depositada en el suelo y en los propios árboles para planificar la limpieza de los mismos. Así, mediante el uso de cámaras térmicas, se identifican puntos de calor susceptibles y se recorre cortafuegos para asegurar su limpieza y estado; ya que generalmente se encuentran en zonas de difícil acceso y siendo en su mayoría de gran extensión.

Entre otras acciones, es posible contar con insumos para elaborar planes de manejo forestal, de parques nacionales y Planes Estratégicos. Además, en zonas secas o de bosque uniforme puede darse un conteo de individuos y en bosques densos, la cuantificación del dosel.

- d. Análisis del estado nutricional**, que se realiza mediante la incorporación de cámaras multiespectrales al dron, para conocer el estado de salud de los cultivos que se encuentran en campo (Red Escuelas 2018).

Como en la Figura 17, la cámara (a través del sensor que tiene incorporado), recoge la luz que reflejan las plantas; en tal sentido, si la planta está sana y realiza de forma correcta su proceso de fotosíntesis, reflejará ciertas zonas del espectro de luz; por el contrario, si se encuentra con algún déficit de nutrientes, la luz reflejada cambiará (Red Escuelas 2018).



Figura 17. Reflectancia de la luz según el estado nutricional de las plantas

Fuente: Adaptado de midopt.com, citado por Red Escuelas 2018.

- e. **La detección temprana de plagas y enfermedades**, otra de las funcionalidades específicas y ligada a la anterior, que permite también evitar un rápido contagio; pues como indica García (2014), las alteraciones en el proceso fotosintético suelen ir seguidas de un cierre de estomas y aumento de la temperatura de la planta. Adicionalmente, la aparición de una plaga puede provocar una reacción fisiológica de rechazo reflejada en un aumento de la temperatura; una problemática que puede ser fácilmente detectada mediante el uso de sensores térmicos (Figura 18).

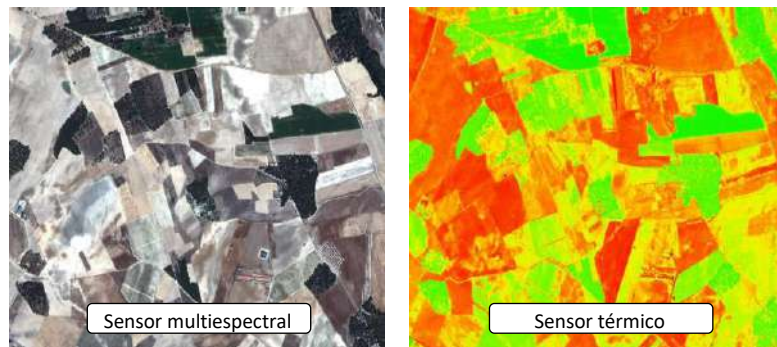


Figura 18. Estado de la vegetación desde diferentes sensores

Fuente: Adaptado de García 2014.

No obstante, agrega García (2014), sensores idóneos son aquellos que generan bandas espectrales (es decir, sensores multiespectrales o hiperespectrales); no dejando por ello de lado al sensor térmico, que puede servir como una herramienta de apoyo.

Como muestra la Figura 19, García (2014), refiere que, la alteración fotosintética provoca en las plantas disminución de la clorofila, vigor

vegetativo y verdor; que puede ser detectable de forma temprana (cuando aún no es un problema extendido en la plantación), mediante la elaboración de índices de vegetación (parámetro calculado a partir de los valores de la efectividad a distintas longitudes de onda).

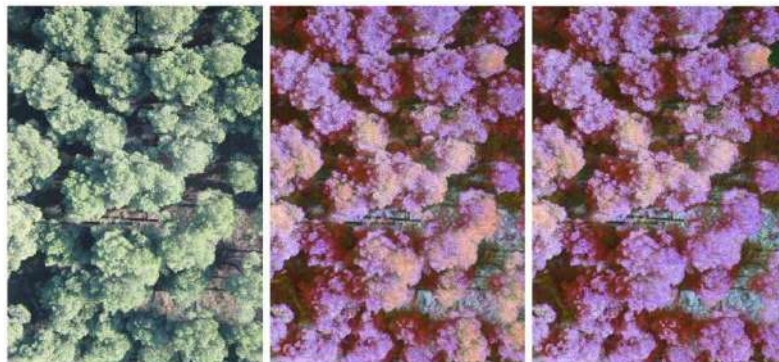


Figura 19. Detección de problemas fitosanitarios invisibles al ojo humano y seguimiento de su evaluación mediante vuelo multispectral

Fuente: Adaptado de García 2014.

- f. **Estrés hídrico**, traducido en las plantas a través de un aumento de la temperatura de sus hojas, puede detectarse mediante las cámaras multispectrales. Su evaluación mediante mapeo aéreo permitirá aplicar la cantidad de agua necesaria y en el lugar adecuado para así revertir el problema (Red Escuelas 2018). Sin embargo, según el nivel de procesamiento, es posible la elaboración de tres productos: mapas térmicos, mapas de índices normalizados, mapas de dosis de riego; productos que permiten monitorizar el estrés hídrico y su evolución (García 2014).

2.2.8.7. Plan de vuelo para exploración fotográfica con drones

Al momento de realizar el mapeo de una determinada área se deben tener en cuenta todas aquellas variables que influyen en el resultado final, e ir las ajustando de acuerdo con el resultado que se quiere obtener. Consideraciones que, como plantea Red Escuelas (2018), permitirán conocer entre otras cosas; qué tanto alcanzará la autonomía de vuelo y la memoria de la cámara: la altura de vuelo que conviene utilizar, qué velocidad, cada cuanto se sacarán las fotos, cuál será el tiempo total de vuelo y el número de fotos.

También es necesario tener en cuenta el tipo de geometría de vuelo a utilizar (en función a la geometría del terreno), con el fin de optimizar el

espacio sin reducir demasiado el nivel de solapamiento de las imágenes (Red Escuelas 2018).

Bravo (2018), indica que el solape es muy importante para fotogrametría, en consecuencia, al realizar un vuelo recomienda hacerlo con un solape o superposición mayor al 75 %. Cuando mayor solape se tiene, también se obtienen mayores puntos de georreferenciación, puntos comunes de una imagen con otra; en cambio, con un 20 % de solape se obtienen menos puntos, por lo que recomienda un solape mayor a 75 % hasta 80 %; además advierte, un solape mayor (al 95 %, por ejemplo) en la zona del área en estudio, ocuparía mayor cantidad de fotos complicando el procesamiento de la información (Figura 20).

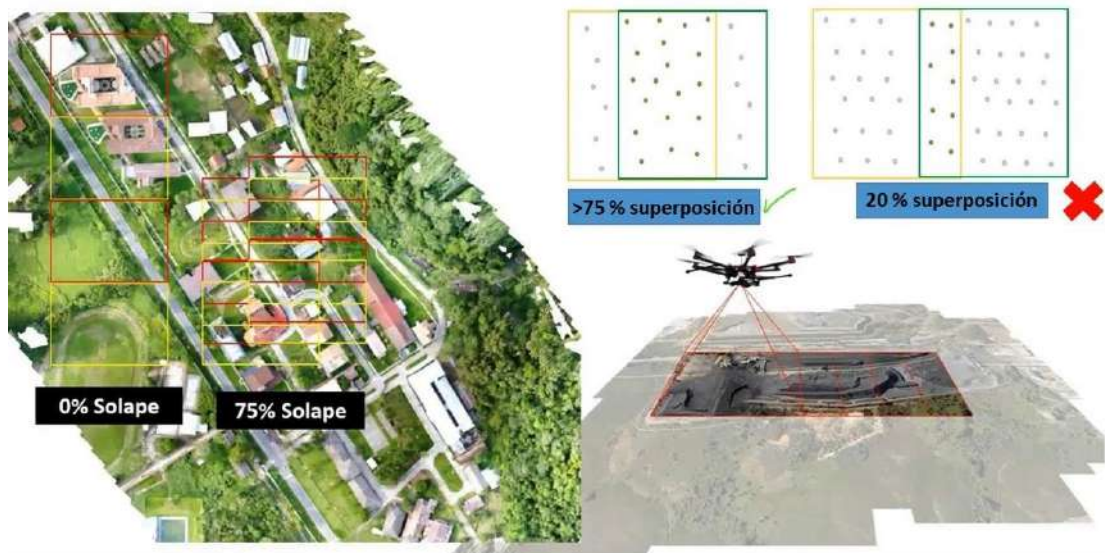


Figura 20. Solape o superposición entre fotos tomadas mediante vuelo de un dron o RPA
Fuente: Adaptado de Bravo 2018.

Como se observa en la Figura 21, la trayectoria de un sobrevuelo es de forma de cuadrícula, con la cámara apuntando totalmente perpendicular al suelo (plano cenital) y cuidando que los solapes mínimos sean entre 75 % (frontal) y al menos el 60 % (lateral) (Bravo 2018). Para ello, existen algunos softwares que permiten realizar el plan de vuelo de manera sencilla calculando todos los parámetros antes señalados (Red Escuelas 2018).

En muchos de estos softwares bastará con delimitar el terreno que se desea relevar, elegir el punto de partida y seleccionar algunos parámetros como el nivel de solapamiento y la velocidad del dron, como se observa en la Figura 22 (Red Escuelas 2018).



Figura 21. Trazado de plan de vuelo sobre un terreno (en rojo el perímetro, en verde el recorrido del dron).

Fuente: gmofreemidwest.org, citado por Red Escuelas 2018.

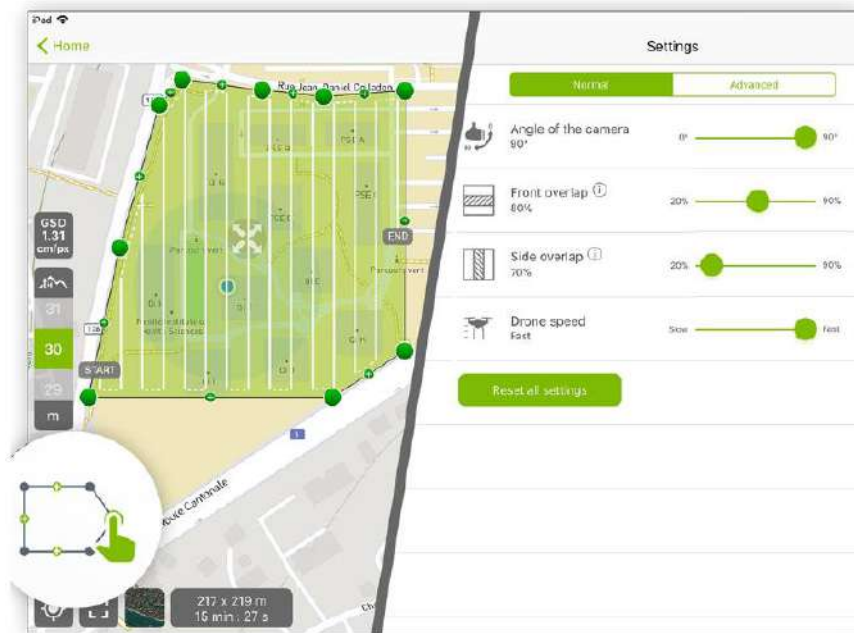


Figura 22. Pantalla de ajuste del área y los parámetros de mapeo mediante software

Fuente: helicomicro.com, citado por Red Escuelas 2018

Otras consideraciones de la fotografía con drones:

Red Escuelas (2018), advierte tres aspectos que no deben pasar por desapercibidos: el formato de imagen, la georreferenciación, y generación de un ortomosaico.

a. Formatos de imagen

Las cámaras guardan las fotografías en su memoria interna, sin embargo, al ser limitada; es posible agregar una memoria externa para el almacenamiento de todas las fotos sacadas durante un vuelo. Dependiendo del volumen de datos, se dispone de tres formatos de imagen:

- i. **JPEG:** O JPG, que es el más utilizado. Permite optimizar el espacio de la memoria comprimiendo la imagen; sin embargo, el reducir la calidad de la imagen trae consigo una pérdida de la información contenida en la foto original.
- ii. **RAW:** Es el formato de imagen “crudo”, es decir, se cuenta con la foto tal cual fue capturada por el sensor de la cámara; y permite con posterioridad manipular la imagen mediante ajuste de exposición, balance de blancos, entre otros. Es mucho más pesado que el formato anterior, sin embargo, no brinda la posibilidad de incluir datos esenciales como la posición GPS, lo que sí permite el formato JPEG.
- iii. **TIFF:** Une las cualidades de los dos formatos anteriores, tener la imagen sin compresión (como el RAW) y con todos los datos (como el JPEG); por ello, es más pesado que el formato RAW.

b. Georreferenciación de imágenes

Cuando vemos una fotografía digital, visualizamos una imagen que surge de un archivo informático guardado en una memoria; no obstante, no solo contiene la imagen sino información relacionada con la misma (fecha, hora, dimensiones, etc.). Bajo este principio, todos los drones cuentan con una unidad de movimiento inercial (IMU) que contiene varios sensores, entre ellos un altímetro y un GPS; cuyos datos se adjuntan a la fotografía tomada por el dron en una imagen con formato JPEG.

El hecho de que el dispositivo tome la fotografía y tenga incorporado el sensor GPS, se estará agregando a la imagen las coordenadas geográficas de donde fue sacada la foto; proceso al que se le denomina georreferenciación y permite ubicarnos con gran precisión en el mapa.

c. Generación del ortomosaico (ortofoto)

Para mapear una parte importante de un terreno, no basta con sacar una foto, es necesario hacer una secuencia de fotos para luego juntarlas en una sola imagen (mosaico). Para ello se deben tener puntos en común, de manera que en un proceso posterior puedan solaparse.

En consecuencia, con las imágenes georreferenciadas y la ruta de vuelo es posible ubicar todas las fotos tomadas por el dron en un solo mapa; conformando así una única imagen que contiene toda la superficie de interés.

La imagen obtenida después de este proceso se conoce como ortomosaico. El proceso para su generación es complejo, lo que implica un exhaustivo análisis y procesamiento del conjunto de fotografías realizado por diversos softwares dedicados a esta tarea (Figura 23).



Figura 23. Fotografía aérea planimétricamente corregida (ortofoto)

Fuente: Mejía y Vásquez 2018:43.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Neotrópico

“Neotrópico” es el término empleado para referirse a los trópicos americanos o del Nuevo Mundo (Kricher c2010). Como tal, indica la Dra. Horna, éste abarca todo lo que es Sudamérica, Centroamérica y parte de Norteamérica (CELAEP 2018).

Geográficamente, según el estudio de Kricher (c2010:2-3):

... El Neotrópico incluye el extremo sur de Norteamérica, todo Centroamérica y mucho de Sudamérica. Se puede visitar el Neotrópico viajando al sur de México, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Guyana, Surinam, Guayana Francesa, Ecuador, Perú, Brasil, parte de Paraguay y Bolivia y el extremo norte de Chile y noroeste de Argentina. En el Mar Caribe, las Antillas Mayores y Menores se encuentran dentro del Neotrópico.

De acuerdo a Kricher (c2010), en el neotrópico hay la presencia de los denominados “Bosques secos tropicales”, que también se suelen denominar “bosques monzónicos” en los que, algo de lluvia cae cada mes.

2.3.2. Bosque

Una definición interesante y muy útil es la propuesta por el National Forest Inventory, citado por Linares-Palomino (2004:95): "... un área, que incorporando todos los componentes vivos y no-vivos, es dominada por árboles, que usualmente tienen un solo tallo y una altura máxima o potencialmente máxima que excede los 2 m y con cobertura de copa del dosel existente o potencial igual o mayor al 20 %".

2.3.3. Bosque seco

Según Gerthart y Hytterborn, citados por Linares-Palomino (2004:96). “los bosques secos en su sentido más amplio son formaciones muy diversas fisonómica y florísticamente, debido a que crecen bajo condiciones ecológicas (suelo, precipitación, altitud, latitud, aislamiento) a veces diferentes”. Razón que explica todas las diferencias existentes en la definición de las formaciones vegetales a nivel nacional e internacional.

2.3.4. Bosques Tropicales Estacionalmente Secos (BTES)

Para Linares-Palomino (2004:96), es lo que correspondería a una visión más ampliada de lo que son los bosques secos en el Perú, definidos como:

"... bosques en los cuales la precipitación anual es menor a 1600 mm, con una temporada seca de al menos cinco a seis meses en los cuales la precipitación totaliza menos de 100 mm. Consecuentemente los procesos ecológicos son marcadamente estacionales y la productividad primaria neta es menor que en los bosques húmedos porque sólo se da en la temporada de lluvias. Estos bosques además son de menor estatura y área basal que los bosques tropicales húmedos."

2.3.5. Calentamiento global

Según el IPCC (c2019:75) corresponde al "aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante un período de 30 años, o durante el período de 30 años centrado en un año o decenio particular, expresado en relación con los niveles preindustriales, a menos que se especifique de otra manera ...".

2.3.6. Cambio climático

Para el IPCC (c2019:75), "hace referencia a una variación del estado del clima identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos". Asimismo, señala, puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra.

2.3.7. Nivel preindustrial

Para la elaboración del Quinto informe del IPCC, se determinó mediante consenso entre sus autores líderes, que éste correspondería a un período de varios siglos antes del inicio de la actividad industrial a gran escala en torno al año 1750. Se computaron 51 años entre 1850 y 1900, como el período de referencia para establecer una temperatura media global en superficie aproximada en los niveles preindustriales (AIDA 2018; IPCC c2019).

2.3.8. Restauración

Es definido por Román et al. (2018:101) y el SERFOR (2018:20) como el "proceso de ayuda a la recuperación de un área, ecosistema, o paisaje degradado, dañado o destruido, con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la resiliencia, conservar la diversidad biológica y restablecer la funcionalidad de los ecosistemas y paisajes."

2.3.9. Especie endémica

Es la especie que se encuentra restringida a una región. Sin embargo, el término “endémico” es relativo y siempre se usa con referencia a la región. Cabe precisar que las especies endémicas son frágiles ante las perturbaciones ya que su área entera de distribución puede ser alterada (Vanegas 2016).

2.3.10. Especie nativa

Para el SERFOR (2015:238), es “toda especie cuyas poblaciones silvestres se distribuyen de manera natural en un ámbito geográfico determinado, pudiendo ser una región, país o continente. Forma parte de los procesos ecológicos de los ecosistemas presentes en el ámbito geográfico del país”.

Para Vanegas (2016), es la que se encuentra dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual), de acuerdo con su potencial de dispersión natural, además, forma parte de las comunidades bióticas naturales del área.

2.3.11. Dasometría

“La dasometría es una rama de la dasonomía que se encarga de la medida de los árboles” (Grijpma 1990:85). Según Imaña-Encinas (2011), deriva de los vocablos griegos "daso" (bosque) y "metrum" (medida); por lo que, consecuentemente, trata de las mediciones o variables de medida en el bosque. Además, agrega que, para la literatura se consideran sinónimos de la expresión, los términos “dendrometría” (dendro = árbol), “silvimetría” (silva = bosque) y “mensura forestal”.

2.3.12. Dendrometría

Para Romahn y Ramírez (2010), la dasometría se divide en dos partes: la dendrometría y la epidimetría. “Dendrometría” proviene del griego “dendron” (árbol) y “metrón” (medida), por lo que la define como: la medición, cálculo y/o estimación de las dimensiones de los árboles y bosques; dimensiones analizadas desde un punto de vista estático. La epidimetría, por el contrario, analiza sus dimensiones desde un punto de vista dinámico.

2.3.13. Variable

Romahn y Ramírez (2010:237) la definen como “una característica que adopta diferentes formas o modalidades, en otras palabras, que su manifestación es diferente de acuerdo al individuo”. La altura de los árboles o el color del follaje de una especie forestal, son ejemplos de ello. Para los términos estadísticos, añade Vargas (2007:14): “Las variables pueden ser clasificadas como cuantitativas (intervalares) o cualitativas (categóricas), dependiendo si los valores presentados

tienen o no un orden de magnitud natural (cuantitativas), o simplemente un atributo no sometido a cuantificación (cualitativa)".

2.3.14. Métodos estadísticos paramétricos y no paramétricos

Los métodos estadísticos, refiere Vargas (2007), proporcionan criterios y modelos matemáticos para realizar los procesos de recolección, procesamiento y análisis de datos requeridos en estudios donde una componente fundamental son los datos, con características de variabilidad y aleatoriedad. Señala, además, son un medio y no un fin; por lo que los resultados deben ser contrastados con análisis de teorías y modelos conceptuales o modelos matemáticos. Así también, dentro de los métodos estadísticos, se distinguen los métodos paramétricos y no paramétricos (Tabla 4).

Tabla 4. Principales características de los métodos paramétricos y no paramétricos

Métodos paramétricos	Métodos no paramétricos
- Se requieren conocimientos de teoría de la probabilidad, pruebas de hipótesis y funciones de distribución, entre otros.	- Se requieren conocimientos elementales a nivel matemático. Son fáciles de usar y entender.
- Se deben cumplir varios supuestos sobre los datos de la población: distribución normal, varianzas iguales, entre otros.	- Se tienen pocos supuestos, los datos pueden o no tener distribución, es decir, libre distribución.
- Las variables deben ser cuantitativas, con escala de medición de intervalo o de razón.	- Se pueden utilizar con variables de tipo cualitativo con escalas de medición ordinal o nominal. También se pueden utilizar en variables cuantitativas.
- Se pueden realizar análisis multivariados.	- Presenta limitaciones en el análisis multivariado.
- Generalmente se requieren tamaños de muestra grandes ($n > 30$).	- Se pueden trabajar con muestras pequeñas ($n < 30$).
- Se utiliza el total del conjunto de datos.	- Solo se utiliza parte del conjunto de datos.
- Son métodos eficientes y confiables estadísticamente.	- No son tan eficientes estadísticamente, presentan una mayor probabilidad de rechazar una hipótesis nula falsa (error Tipo II)

Fuente: Vargas 2007:18.

2.3.15. Modelo estadístico

“Los modelos estadísticos son un puente entre la muestra observada y la población desconocida” (Dicovski 2016:54). Un modelo estadístico, para Vargas (2007), es una representación simplificada, formal y abstracta de un fenómeno de la naturaleza o de un sistema; que puede representar la estructura, el comportamiento o el funcionamiento de una parte de interés o el conjunto del fenómeno o del sistema.

2.3.16. Modelos de regresión

“Los modelos de regresión se usan para estimar ‘la mejor’ relación funcional entre una variable dependiente y una o varias variables independientes, mientras que los métodos de correlación se utilizan para medir el grado de asociación de las distintas variables” (Vargas 2007:123). Asimismo, la relación fija para un conjunto de datos de un estudio, indica Vargas (2007), está caracterizada por una ecuación de predicción que recibe el nombre de ecuación de regresión o modelo probabilístico, o bien, en contraposición de un modelo determinístico.

2.3.17. Modelo determinístico

“Modelo determinístico” o “ecuación de regresión”, refiere Vargas (2007), es aquel cuyo valor de “y” es único para un único valor de “x”. Es decir, dado un valor de entrada se obtiene un único valor de salida cada vez que se opere el modelo.

2.3.18. Modelo estocástico

También llamado “modelo probabilístico”, es el que incluye una o varias componentes probabilísticas; así, para un valor de entrada se obtiene una respuesta diferente cada vez que se opere el modelo y a diferencia del modelo determinístico, no necesariamente genera una relación de causa-efecto (Vargas 2007).

2.3.19. Error aleatorio

En términos estadísticos, los errores aleatorios, indica Vargas (2007) son valores no observables, en los que se pueden recoger los posibles errores de medida, tanto de la variable “x” como de la variable “y”, así como los errores en la especificación lineal del modelo y que pueden afectar a la variable dependiente del modelo. Pudiendo ser positivos o negativos (Dicovski 2016). Es el producido

por el sistema de mediciones, sostiene Vargas (2007), un error constante presente en cada una de las mediciones que se efectúan. Su valor no afecta al valor real ni al valor promedio del conjunto de datos, y en términos estadísticos, es igual a la diferencia entre una medición y la media de todas las mediciones.

2.3.20. Teledetección

“Teledetección” o “Percepción Remota”, son términos empleados para referirse a la ciencia, tecnología y/o procedimientos para obtener información respecto de un objeto o proceso; por análisis de los datos obtenidos mediante un sensor o instrumento que no está en contacto físico con el objeto o el proceso observado (Suárez 2013).

2.3.21. Silvicultura de precisión

La Silvicultura de Precisión (SP), es una de las últimas manifestaciones de la aplicación de los avances de la ciencia y la tecnología, se deriva del concepto de la Agricultura de Precisión (AP), desarrollado en los años 90's, método al que se le conoce también como Manejo de Sitio Específico (MSE) (Pérez 2012:172).

2.3.22. Fotogrametría

Es un método que utiliza un conjunto de fotos tomadas sobre una escena desde diferentes posiciones con alto grado de traslape entre ellas habilitando la reconstrucción 3D. Una técnica emergente que, según Westoby et al., citado por Espinosa (2017); también se conoce como “Structure from Motion” (SfM).

En ella se aplica la transformación “SIFT” (Scale Invariant Feature Transform), una técnica propuesta por Snavely et al., citado por Espinosa (2017); con la que se identifican rasgos en común entre imágenes (invariantes a la escala, rotación e iluminación) con diferentes ángulos de toma de un mismo objeto.

2.3.23. Sensor remoto

Los sensores remotos según Jensen, citado por González y Otárola (2017), tienen la capacidad de obtener información de un objeto en tiempo real sin entrar en contacto físico con este, algunos de cámara multiespectral están en la capacidad de medir la radiación de un objeto en longitudes de onda que para el ojo humano son imposibles de discriminar, permitiendo ver en mayor detalle el espectro electromagnético.

Los hay, sensores pasivos, aquellos que registran información a partir de una fuente de radiación natural o reflejada de la tierra, el uso de drones por ejemplo; y sensores activos, los que a partir de una fuente interna de radiación (propia del sensor) inciden sobre el objeto para adquirir información del objeto en estudio a partir de su reflectividad, como el sistema Radar y LIDAR (Espinosa 2017).

2.3.24. Drone o RPA

Los drones son la incorporación más reciente a la flota de plataformas (sensores) para capturar imágenes. Su capacidad para volar a baja altitud, 100 a 500 pies (30.48 a 152.4 metros) y con control remoto ofrece atractivas ventajas para la fotografía aérea con resoluciones que llegan a menos de 1 pulgada (Harder c2016). Según la DGAC (2015), el término “drone” corresponde a una denominación del ámbito militar, que etimológicamente proviene de “dran” o “draen”, abeja macho o zángano, en referencia al zumbido producido por sus motores, similares al de los zánganos volando. Sin embargo, sostiene que, de manera técnica, la denominación más asequible es Aeronave Pilotada a Distancia (RPA, Remotely Piloted Aircraft, por sus siglas en inglés). Ruiz (s. f.) indica que el término más usado actualmente es “drone”, puesto que tiene validez internacional y se aplica tanto para aquellos de uso militar, como para los que prestan sus servicios a diferentes industrias civiles como el recreativo, el audiovisual, el de transporte y el forestal.

2.3.25. Ortofoto

“Ortomosaico” u “ortoimagen”, es el proceso de integración de varias imágenes fotográficas geográficamente corregidas y geo-referenciadas para formar una representación fotográfica continua de una parte de la superficie de la tierra (CONACYT 2013). “Se caracteriza por tener una escala uniforme y geometrías reales. Proyección ortogonal” (Mejía y Vásquez 2018).

2.3.26. Población infinita

En términos generales, la población es una totalidad de individuos que tienen ciertas características comunes, que puede tener un número finito (como un bosque con un conjunto de parcelas contiguas, o un conjunto de todos los árboles de un bosque), o un número infinito (una zona sobre un mapa, por ejemplo, que viene a ser la suma de un número infinito de puntos). En términos estadísticos,

Romahn y Ramírez (2010), afirman que, si una muestra representa menos del 5 % de una población, ésta se considera infinita.

2.3.27. Pre muestreo

Conocido también como “muestreo piloto”, indica el MINAM (2010), es necesario para obtener el valor del Coeficiente de Variación (CV), que también podría tomarse de inventarios forestales realizados en áreas boscosas de características similares a la que es objeto de estudio, o bien, asumir un valor entre 40 % y 50 %. Según Lombardi et al. (2008) éste se considera a partir de 30 individuos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el “Bosque Yanahuanca”, propiedad del señor Exequiel Huancas Parihuaman (Anexo 1). Se encuentra ubicado en el sector denominado Uña de Gato, a 30 minutos de la ciudad de Jaén, en el distrito de Bellavista (Figura 24), entre las coordenadas UTM 17S 744638 Este y 9378794 Norte; sin embargo, según la cartografía oficial, se localiza en el distrito de Jaén. La ruta de acceso es siguiendo la carretera asfaltada Jaén - San Ignacio, rumbo al norte, hasta el km 32.5; para luego tomar un desvío de trocha carrozable con un recorrido de 2 km.

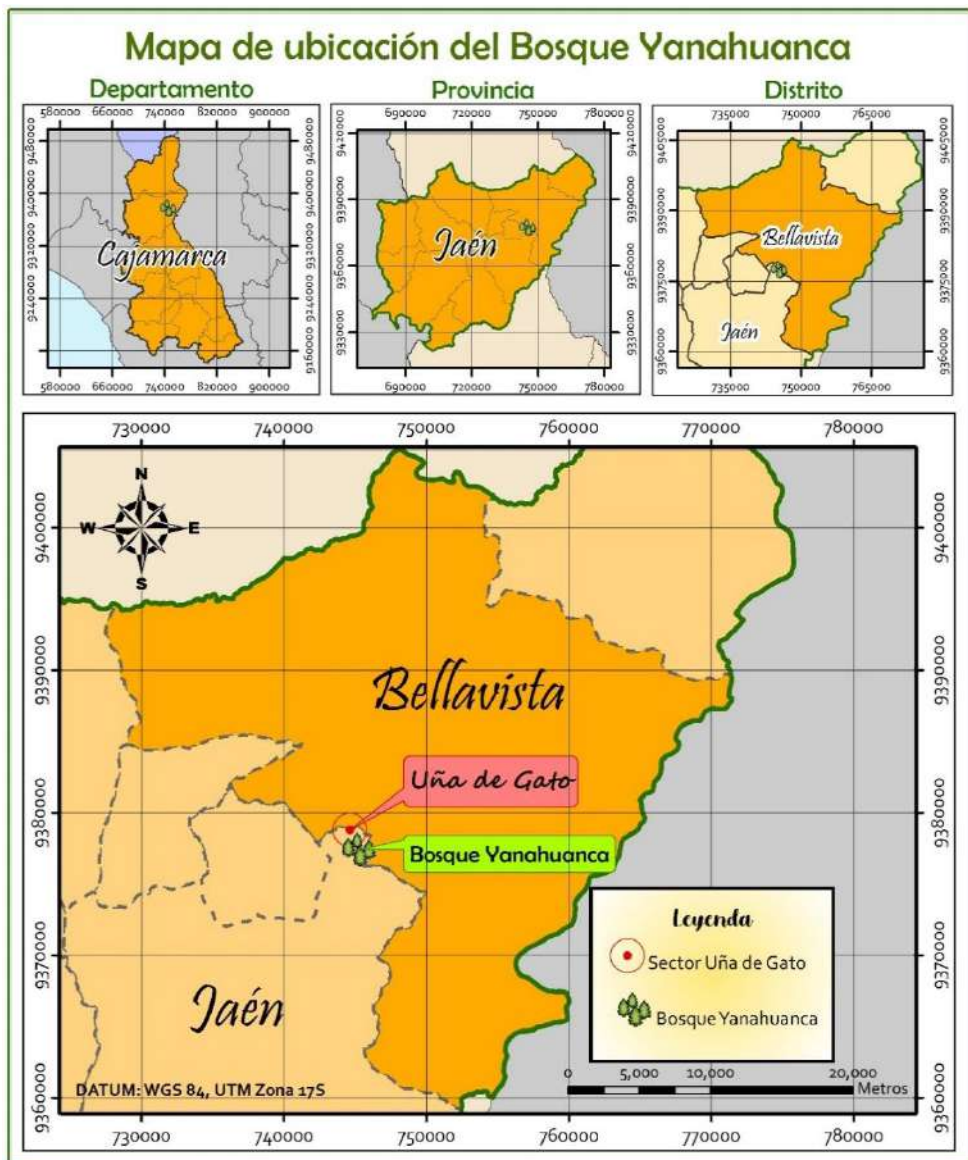


Figura 24. Mapa de ubicación del Bosque Yanahuanca

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material biológico

Árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (acerillo).

3.2.2. Material y equipo de campo

GPS, cinta métrica, clinómetro, libreta de apuntes, machete, material de escritorio, la Guía Ilustrada de la Flora Leñosa de los BTES de Marcelo-Peña et al. (2010), cámara fotográfica, dron MAVIC 2 (DJI).

3.2.3. Material y equipo de gabinete

Fotos aéreas (tomadas del dron), base de datos del MINAM sobre Áreas Naturales Protegidas, Base de datos ZEE-Jaén y nacional, laptop y memoria usb.

Además, se hizo uso de software SIG: Map Source, ArcGIS, Pix4D y del software estadístico SPSS y/o Excel, para procesamiento de la información colectada.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Trabajo en campo

Se tomaron en cuenta cuatro aspectos:

i. Reconocimiento de la distribución espacial de los árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg

Con el fin de determinar una muestra más representativa para el estudio (posterior análisis y procesamiento de datos), se tuvo en consideración realizar la identificación previa de los árboles de *A. polyneuron* Müll. Arg, codificándolos y registrando su ubicación mediante el uso de GPS. También se registraron los atributos de cada individuo identificado, en base a los protocolos establecidos para “forma de la copa” (según la clasificación de Dawkins de 1958) y “forma del fuste” (una adaptación de Hutchinson, presentada por Pinelo); publicados por el CATIE (Camacho 2000). Asimismo, el protocolo presentado por la red RAINFOR (2016) para los “índices de iluminación de la copa” (Anexos 4, 5 y 6).

Aunque el MINAM (2010), establece para el estudio en bosques secos semiáridos (Bosques secos del Noroeste), árboles medibles a partir de 5 cm de diámetro. Para *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. se tomó en consideración como individuos medibles, a aquellos árboles cuyo DAP fue ≥ 10 cm; puesto que el diámetro mínimo de corta en el género *Aspidosperma* alcanza a los 40 cm (Chaca et al. 2016).

ii. Respecto al tamaño de la muestra (n)

El cálculo de la muestra (n) se determinó mediante la fórmula para poblaciones infinitas:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Donde: “n” es el tamaño muestral, “t” el valor de t al 95 % (1.98), “E” el error entre 5 y 10 % y “CV” la variabilidad de árboles. Este último, a calcularse a partir del diámetro de fustales mayores a 10 cm de DAP, registrados de un pre muestreo (n_0) de 30 individuos, como lo sugiere Lombardi et al. (2008) y en base a los parámetros de la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros para el cálculo del coeficiente de variación (CV)

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	FORMULA
Promedio	Es una estimación no viciada de la media poblacional	\bar{x}	$\frac{\sum x}{n_0}$
Varianza	Es una estimación no viciada de la varianza poblacional.	S^2	$\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n_0}}{n_0 - 1}$
Desviación estándar	Es la raíz cuadrada de la varianza	S	$\sqrt{S^2}$
Coefficiente de Variabilidad	Medida de la dispersión o variabilidad de un conjunto de observaciones en relación a su promedio.	CV	$\frac{S}{\bar{x}} * 100$

Fuente: Lombardi et al. 2008:5.

En la Tabla 6, se muestran los valores de DAP que se registraron a partir de un pre muestreo “ n_0 ”, de árboles de *Aspidosperma polyneuron* en la zona de estudio (Anexo 8), los valores registrados oscilan entre 20 a 30 cm. Con ello, el coeficiente de variación (CV) obtenido, a partir del pre muestreo (n_0), fue de 11.77.

Tabla 6. Datos del pre muestreo (n_0) para el cálculo de la variabilidad (CV)

Nro. Árbol	Cód. Árbol	CAP (cm)	DAP (cm)
1	Y 03 A	75.00	23.87
2	Y 07 A	73.00	23.24
3	Y 13 A	70.00	22.28
4	Y 15 A	90.00	28.65
5	Y 16 A	94.00	29.92
6	Y 18 A	88.00	28.01
7	Y 25 A	76.80	24.45
8	Y 36 A	74.00	23.55

9	Y 42 A	78.50	24.99
10	Y 44 A	81.50	25.94
11	Y 45 A	91.00	28.97
12	Y 49 A	83.50	26.58
13	Y 50 A	79.00	25.15
14	Y 51 A	92.00	29.28
15	Y 53 A	89.50	28.49
16	Y 01 C	68.30	21.74
17	Y 02 C	72.70	23.14
18	Y 04 C	72.30	23.01
19	Y 05 C	67.00	21.33
20	Y 06 C	64.60	20.56
21	Y 07 C	80.00	25.46
22	Y 08 C	81.70	26.01
23	Y 10 C	80.00	25.46
24	Y 11 C	68.50	21.80
25	Y 05 D	93.00	29.60
26	Y 42 D	72.70	23.14
27	Y 02 E	62.90	20.02
28	Y 04 E	70.50	22.44
29	Y 07 E	66.00	21.01
30	Y 29 E	73.50	23.40

iii. Medición del diámetro a la altura de pecho (DAP)

En primer lugar, se registró con cinta métrica la Circunferencia a la altura del pecho (CAP) de cada árbol seleccionado, para su posterior conversión a la variable de interés, el Diámetro del fuste (DAP); como lo sugieren Rüginitz et al. (2009): $D = C/\pi$. Donde: D es el diámetro, C es la circunferencia y π (PI) equivale a 3.1416.

Según las condiciones en que se presentó cada árbol en campo, se tomaron en cuenta las precauciones para su medición, según lo dispuesto por Camacho (2000) y RAINFOR (2016).

iv. Medición del diámetro de copas

Para efectos del presente estudio, bajo la definición de Juárez (2014), se entiende por "Diámetro de copa" (DC), a la proyección vertical de la misma; además, asumiendo (pese a la irregularidad que presenta), que es equivalente al área de una circunferencia y que se define por el promedio de copa. En síntesis, respecto a la copa de los árboles de acerillo, el estudio únicamente se circunscribe a la proyección de copas sobre el plano horizontal.

Este procedimiento se realizó mediante teledetección con el Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAs), con la toma de fotos aéreas, para su posterior tratamiento en un software de procesamiento de imágenes. Las mediciones se realizaron según las consideraciones de Domínguez y Diéguez et al. citado por Galván et al. (2011): el promedio del diámetro mayor y el diámetro menor.

El dron (RPA) empleado para obtener las fotografías aéreas, fue del tipo multirroto, modelo dji con cámara multiespectral, aplicativo "dji go" para el vuelo y se utilizó el software Agisoft Photo Scan para generar los ortomosaicos (ortofotos) a partir de éstas.

3.3.2. Trabajo en gabinete

i. Organización de datos colectados en campo

- i.1. La ubicación geográfica, registrada con GPS, por cada individuo de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. seleccionado en el ámbito de estudio, se importó mediante el software Map Source y Excel para su posterior tratamiento en ArcGIS.
- i.2. Los datos colectados (DAP y diámetro de copa proyectada) de la unidad muestral fueron organizados mediante tablas Excel.
- i.3. Los ortomosaicos (generados a partir de las fotografías aéreas), se digitalizaron manualmente, mediante el uso del software ArcGIS, para la obtención de los datos relativos al diámetro de copa proyectada (Figura 25). De manera complementaria, para comprobar la correlación obtenida,

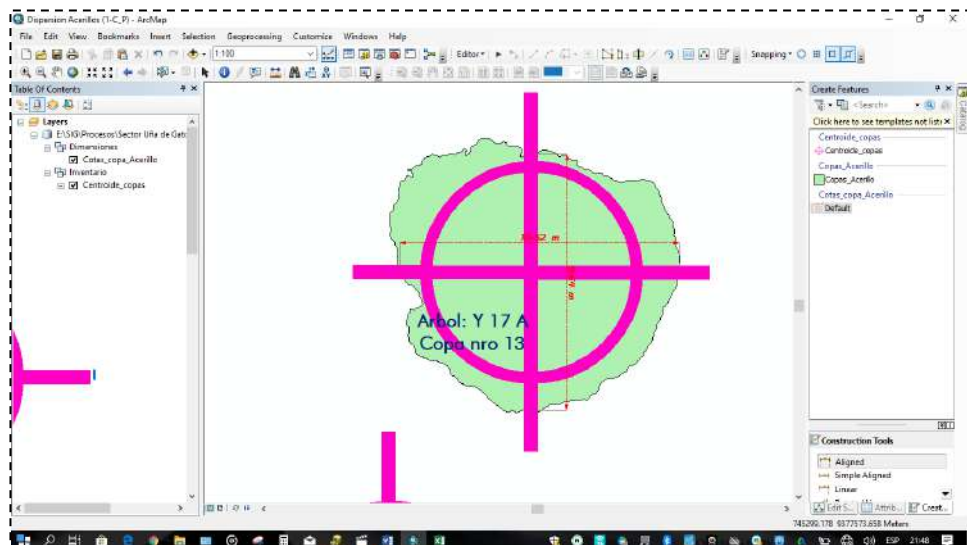


Figura 25. Medición de los diámetros de copa en ArcMap (en direcciones, Norte-Sur "N-S" y Este-Oeste "E-O"), desde una copa digitalizada de árbol de acerillo.

se obtuvo el área basal y el área de copa (área de la proyección de copa) de los árboles evaluados, mediante cálculo tradicional y automatizado en ArcMap, respectivamente. La digitalización de copas, fue realizada mediante la combinación de bandas RGB:4-3-2 (Figura 26); contrastando, paralelamente, la ubicación de cada árbol (registrado en GPS), mediante fotografías de los mismos, tomadas con cámara común en plano vertical sobre el terreno, debido al error arrojado por el navegador GPS (entre 3 a 5 metros).

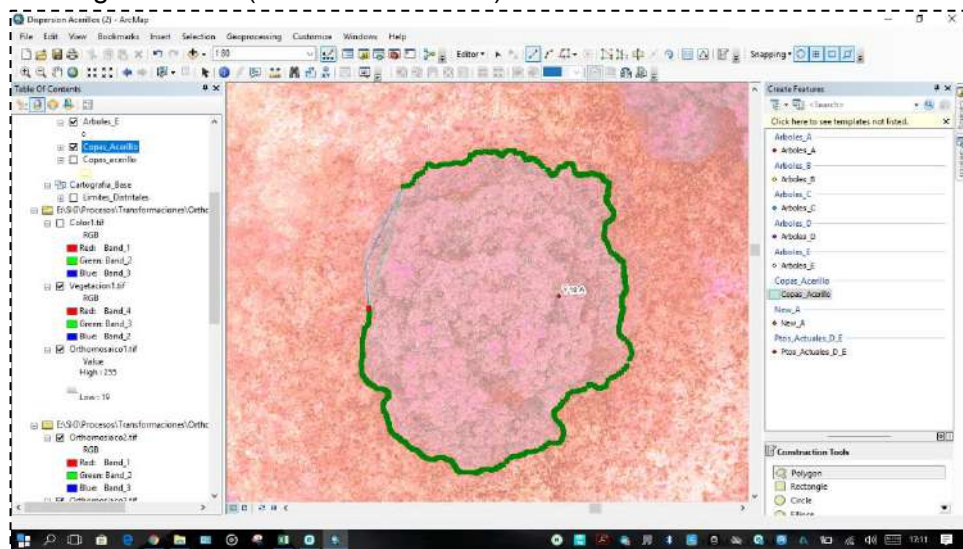


Figura 26. Digitalización manual de la copa del árbol de acerillo "Y 10 A", con vista del ortomosaico en falso infrarrojo (combinación RGB:4-3-2)

ii. Proceso estadístico

Mediante el uso del programa excel y SPSS, se realizó el procesamiento de los datos colectados en campo, para determinar el grado de correlación de las variables dendrométricas en individuos de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.: diámetro a la altura de pecho y diámetro de copas (proyección en plano horizontal), a un nivel de significancia de 5 %.

iii. Acciones complementarias

Como parte del producto final, se realizó el mapeo de los siguientes componentes:

- iii.1. Mapa de ubicación del área de estudio (Figura 27).
- iii.2. Mapa de la distribución espacial de los árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. seleccionados (Anexo 12).
- iii.3. Mapeo de la vista aérea de copas de los individuos seleccionados (Anexo 13).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. identificados en campo y determinación del tamaño de la muestra (n)

a. Distribución espacial

En el “Bosque Yanahuanca” se identificaron cinco (5) agrupaciones de acerillo, de alrededor de 20 años. Como se observa en la Figura 27, cada zona fue diferenciada mediante las letras: “A”, “B”, “C”, “D” y “E”.

Asimismo, se registraron un total de 187 árboles, de $DAP \geq 10$ cm, distribuidos del siguiente modo (Anexos 7, 13 y 16):

- **Zona “A”**, 54 árboles delimitados mediante cercos en tres (III) bloques.
- **Zona “B”**, un área con 42 individuos, en su mayoría árboles inclinados excesivamente, de copas asimétricas (copas de ‘pobres’ a ‘muy pobres’) a causa de la ausencia de un manejo silvicultural. En las labores posteriores, esta zona no fue considerada debido al entrecruce de copas y datos inexactos a los que conduciría la delimitación de sus copas mediante teledetección.
- **Zona “C”**, un remanente de 13 árboles dispersos debido a la intervención para labores agrícolas.
- **Zona “D”**, un área con 49 árboles de acerillo.
- **Zona “E”**, un área próxima a la anterior con 29 árboles de acerillo.

En su gran mayoría, los árboles de acerillo de las zonas identificadas fueron: de copa asimétrica (o bien, por causas naturales; o debido a la intervención humana, como la poda de ramas), bifurcados por debajo de 1.30 metros (con indicios de haber sido talados), de fuste con daños mecánicos, excesivo entrecruce de copas (que imposibilitaría la digitalización de copas, principalmente en la zona “B”), entre otros. Razón por la cual, se registraron las variables dendrométricas de los 187 árboles identificados, a fin de conformar la muestra mejor representativa que permitiría los resultados más confiables para el estudio (Anexo 10 y 16).

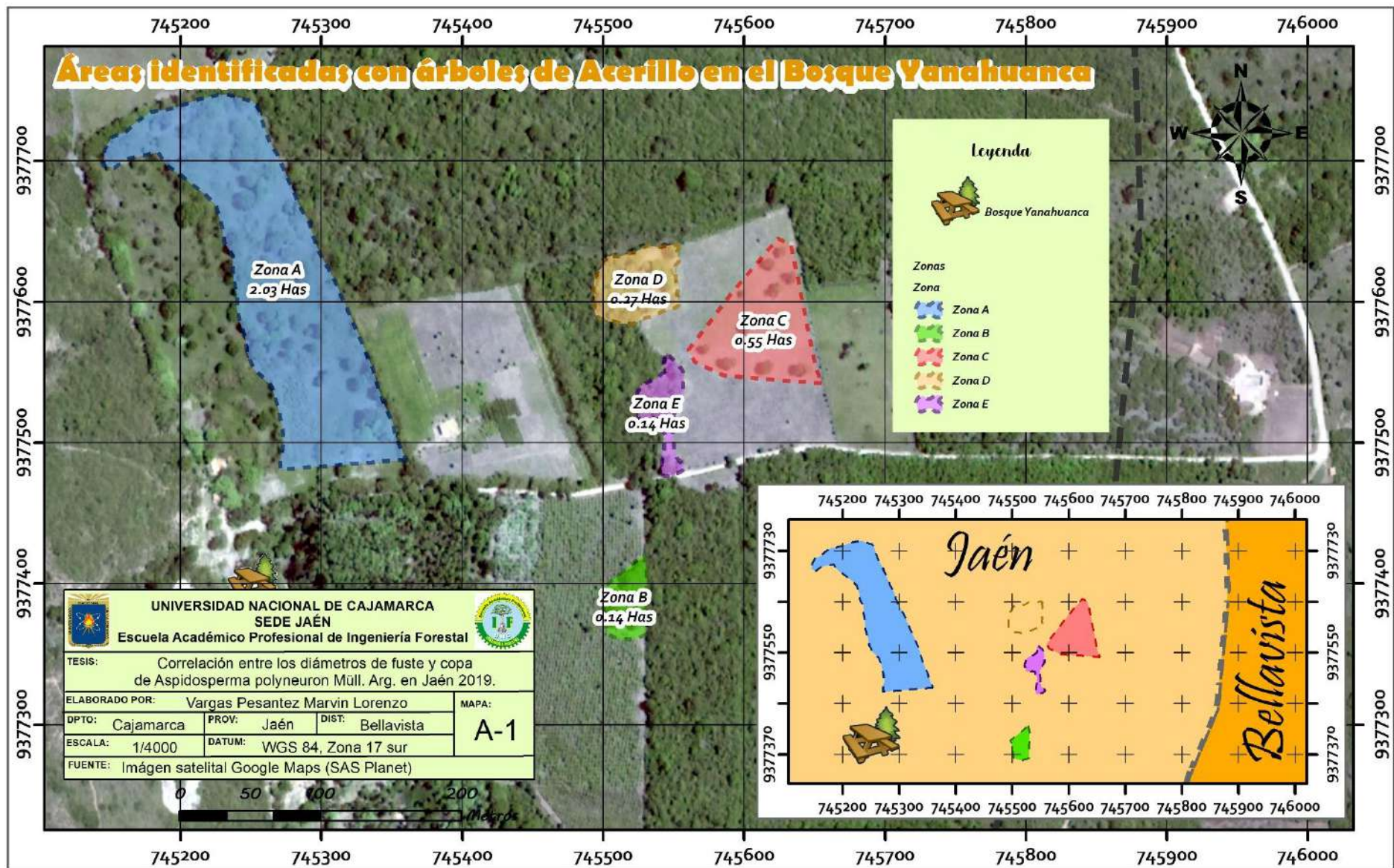


Figura 27. Mapa de áreas identificadas con árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. en el ámbito del Bosque Yanahuanca.

b. Tamaño muestral (n)

En función a 11.77, como el coeficiente de variación (CV) calculado, y considerando un error (E) del 5 % (respecto de la metodología propuesta); el tamaño muestral (n) obtenido fue de 22 individuos. Sin embargo, bajo el criterio de representatividad, sostenido por Vargas (2007) y Angulo (2015), se resolvió considerar una muestra (n) de 30 árboles de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.

Aunque para los procesos estadísticos, se sostiene la premisa de que, “a mayor número de datos, mayor precisión”. Pese a que en las zonas del estudio se identificaran un total de 187 árboles ($DAP \geq 10$ cm), tras considerar las evidencias geomorfológicas registradas por cada árbol (Anexo 10); dicha afirmación pierde efecto.

En tal sentido, en función a la muestra determinada ($n = 30$), la incorporación de los individuos a la unidad muestral, fue de carácter selectivo (habiendo de realizar dicha selección, luego de registrado el DAP y digitalizadas las copas de los árboles en los que fuere posible dicho procedimiento, con la finalidad de lograr así, la muestra más representativa, para correlacionar los diámetros de fuste y copa ($r_{DAP, DC}$).

4.1.2. Registro del Diámetro a la altura de pecho (DAP)

A partir de los 187 árboles identificados, se obtuvieron 218 registros de DAP (a causa de árboles bifurcados y trifurcados por debajo de 1.30 metros). El máximo valor de diámetro alcanzó los 35.97 cm. Cabe precisar, algunas mediciones consignadas en la tabla de registro del inventario, son menores a los 10 cm de DAP requeridos; valores que corresponden a los árboles bifurcados o trifurcados con al menos un fuste con la particularidad antedicha (Anexo 15).

Adicionalmente, únicamente en las zonas A, C, D y E, por medición indirecta con clinómetro, se registraron la altura total (HT), cuyos valores están comprendidos entre 4.25 a 16.05 m y la longitud de fuste (LF) para la obtención de la altura comercial (HC), valores comprendidos de 1.40 a 7.55 metros, como el mínimo y máximo valor registrados (Anexo 9 y 17).

4.1.3. Obtención de la medición del Diámetro de copa (DC)

Mediante dos vuelos de drone programados, con traslape de 70 y 80 % se cubrieron las zonas de distribución de acerillos identificadas: el primero (abarcando la zona “A”) a una altura de 70 m, y el segundo (que abarcó las zonas

“B”, “C”, “D” y “E”) a una altura de vuelo de 46 m. Se obtuvieron dos ortomosaicos en formato “.tiff” (Anexo 11):

Vuelo	Zonas cubiertas	Ortomosaico
1er vuelo: 28 Sep. 2019	A	Ortomosaico 1
2do vuelo: 06 Oct. 2019	B, C, D, E	Ortomosaico 2

Se digitalizaron un total de 67 copas de árboles de acerillo (entre las zonas A, C, D y E), de las que posteriormente se obtuvo el diámetro promedio de copa (DC) a partir de los diámetros en las direcciones Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-O), como se observa en la Tabla 7. De forma complementaria, también se calculó el Área de proyección de Copa (AC), de modo automatizado, mediante el software ArcGIS.

Tabla 7. Registro de dimensiones del Diámetro y Área de proyección de copa (DC y AC) de árboles de *Aspidosperma polyneuron* desde ArcMap

Nro. Árbol	Cód. Árbol	Altura total “HT” (m)	Nro. Copa	Diámetro Copa proyectada (m)			Área de proyección de Copa “AC” (m ²)
				Diámetro N-S	Diámetro E-O	Diámetro promedio (DC)	
1	Y 01 A	13.00	1	11.34	8.91	10.13	82.57
3	Y 03 A	13.05	2	4.90	6.18	5.54	26.89
4	Y 04 A	16.05	3	7.48	7.45	7.47	51.62
5	Y 05 A	15.00	4	9.78	8.13	8.96	59.59
9	Y 09 A	13.00	5	9.16	8.87	9.02	65.22
10	Y 10 A	12.80	6	9.56	7.60	8.58	60.35
11	Y 11 A	13.00	7	8.85	8.14	8.50	52.74
12	Y 12 A	11.70	8	8.14	7.87	8.01	54.71
13	Y 13 A	10.80	9	6.05	5.81	5.93	32.19
14	Y 14 A	13.00	10	10.07	8.03	9.05	71.63
15	Y 15 A	13.20	11	9.61	9.09	9.35	62.35
16	Y 16 A	12.60	12	7.51	7.55	7.53	43.94
17	Y 17 A	14.70	13	9.64	10.52	10.08	83.23
18	Y 18 A	13.05	14	8.25	8.43	8.34	58.54
19	Y 19 A	8.30	15	3.34	6.24	4.79	18.79
20	Y 20 A	10.20	16	6.98	5.30	6.14	28.87
24	Y 24 A	10.80	17	6.27	3.60	4.94	18.84
25	Y 25 A	12.60	18	6.35	7.98	7.17	44.20
26	Y 26 A	9.90	19	7.58	7.81	7.70	56.73
27	Y 27 A	11.40	20	8.99	8.38	8.69	58.13
29	Y 29 A	10.95	21	5.31	6.06	5.69	33.00
34	Y 34 A	11.00	22	6.43	4.71	5.57	30.38
35	Y 35 A	11.10	23	7.60	9.39	8.50	18.37
36	Y 36 A	9.45	24	5.87	6.74	6.31	26.35
37	Y 37 A	10.20	25	5.94	6.48	6.21	56.86
39	Y 39 A	12.20	26	5.03	4.92	4.98	49.27
40	Y 40 A	12.00	27	5.86	5.32	5.59	62.78

41	Y 41 A	12.00	28	8.90	8.39	8.65	47.32
42	Y 42 A	10.35	29	7.29	8.39	7.84	40.99
43	Y 43 A	13.20	30	8.40	9.82	9.11	49.70
51	Y 51 A	11.55	31	8.15	7.29	7.72	51.85
52	Y 52 A	12.75	32	6.80	7.45	7.13	25.54
53	Y 53 A	13.05	33	7.48	8.40	7.94	24.71
97	Y 01 C	11.55	34	6.07	5.14	5.61	25.33
98	Y 02 C	11.85	35	6.68	5.08	5.88	31.37
99	Y 03 C	12.60	36	9.21	7.91	8.56	57.04
100	Y 04 C	10.50	37	6.32	6.71	6.52	33.58
101	Y 05 C	10.05	38	6.29	4.24	5.27	24.53
102	Y 06 C	10.95	39	5.81	6.10	5.96	25.75
103	Y 07 C	10.80	40	7.35	5.62	6.49	34.39
104	Y 08 C	11.40	41	5.66	7.13	6.40	30.30
105	Y 09 C	10.20	42	4.81	7.09	5.95	28.29
106	Y 10 C	10.65	43	7.45	5.93	6.69	33.13
107	Y 11 C	10.35	44	6.62	6.29	6.46	30.17
109	Y 13 C	6.80	45	3.97	4.00	3.99	12.89
111	Y 02 D	8.50	46	4.29	3.68	3.99	12.67
112	Y 03 D	10.50	47	4.18	4.17	4.18	13.38
114	Y 05 D	11.55	48	9.50	8.81	9.16	69.65
115	Y 06 D	11.70	49	4.70	6.04	5.37	24.53
133	Y 24 D	8.20	50	3.18	2.40	2.79	7.11
137	Y 28 D	8.40	51	3.61	4.60	4.11	14.31
138	Y 29 D	8.80	52	3.46	3.22	3.34	8.38
142	Y 33 D	11.25	53	6.20	4.49	5.35	24.44
151	Y 42 D	11.25	54	6.94	6.89	6.92	35.61
152	Y 43 D	10.00	55	4.02	3.60	3.81	12.52
153	Y 44 D	10.80	56	5.93	6.38	6.16	32.79
154	Y 45 D	12.50	57	2.56	3.34	2.95	7.28
162	Y 04 E	11.25	58	7.19	7.35	7.27	41.50
163	Y 05 E	12.20	59	4.74	3.29	4.02	14.58
164	Y 06 E	10.80	60	3.05	2.50	2.78	5.96
165	Y 07 E	10.65	61	6.72	5.60	6.16	34.47
168	Y 10 E	10.70	62	4.67	3.87	4.27	13.40
173	Y 15 E	9.10	63	4.28	3.94	4.11	13.19
174	Y 16 E	9.50	64	4.65	4.83	4.74	18.54
185	Y 27 E	10.70	65	4.94	4.86	4.90	16.62
186	Y 28 E	8.00	66	3.16	2.57	2.87	7.37
187	Y 29 E	12.60	67	7.27	8.50	7.89	22.67

Además de la visibilidad que facilitó la combinación de bandas RGB (para digitalizar copas); es de precisar que se llegó a este número de copas, tras el descarte de individuos por lo siguiente (Anexo 10 y 16):

- En primer lugar, árboles bifurcados y trifurcados por debajo de 1.30 m (respecto de la longitud de su fuste).

- En segundo término, se tuvo en cuenta los atributos del árbol (forma e iluminación de copa) y sus observaciones adicionales (árboles bifurcados que fueron talados, así como, aquellos con ramas podadas).
- Por último, y determinante para la digitalización, aquellos con entrecruce de copas (el 100 % de árboles en el caso de la zona B).

Según los Anexos 4, 6 y 14, como resultado de este procedimiento, los atributos (más su codificación respectiva) que les corresponden a las 67 copas digitalizadas, en cuanto a iluminación de copa son: iluminación vertical alta (3b), completa exposición a luz vertical (4) y exposición a luz horizontal y vertical (5). Y según la forma de copa, van desde irregulares (3), buenas (2), hasta perfectas (1).

4.1.4. Correlación de los diámetros de fuste y copa ($r_{DAP, DC}$)

En la Tabla 8 se presentan los datos correspondientes a los 30 árboles que conforman la muestra (n), seleccionados para correlacionar las variables: Diámetro a la altura de pecho (DAP), como variable independiente “x” y el Diámetro de copa proyectada (DC), como variable dependiente “y”. Además, los datos de área basal (g) y área de proyección de copa (AC) con el fin de comprobar la correlación calculada respecto al DAP con el DC ($r_{DAP, DC}$).

Tabla 8. Datos correspondientes al muestreo (n) para la correlación de variables

Nro. Árbol	Cód. Árbol	Nro. Copa	n_i	DAP (cm)	DC (m)	Área basal “g” (cm ²)	Área de proyección de copa “AC” (m ²)
1	Y 01 A	1	1	35.97	10.13	1016.1224	82.57
9	Y 09 A	5	2	30.08	9.02	710.6451	65.22
10	Y 10 A	6	3	33.10	8.58	860.7079	60.35
12	Y 12 A	8	4	30.40	8.01	725.7647	54.71
13	Y 13 A	9	5	22.28	5.93	389.9287	32.19
14	Y 14 A	10	6	33.26	9.05	869.0039	71.63
16	Y 16 A	12	7	29.92	7.53	703.1449	43.94
17	Y 17 A	13	8	35.01	10.08	962.8852	83.23
18	Y 18 A	14	9	28.01	8.34	616.2465	58.54
26	Y 26 A	19	10	30.56	7.70	733.3843	56.73
35	Y 35 A	23	11	30.88	8.50	748.7427	18.37
37	Y 37 A	25	12	19.74	6.21	305.8951	56.86
39	Y 39 A	26	13	12.10	4.98	114.9096	49.27
43	Y 43 A	30	14	32.79	9.11	844.2354	49.70
52	Y 52 A	32	15	31.19	7.13	764.2602	25.54
102	Y 06 C	39	16	20.56	5.96	332.0887	25.75
103	Y 07 C	40	17	25.46	6.49	509.2946	34.39
107	Y 11 C	44	18	21.80	6.46	373.3965	30.17

109	Y 13 C	45	19	19.26	3.99	291.2728	12.89
111	Y 02 D	46	20	15.50	3.99	188.7327	12.67
114	Y 05 D	48	21	29.60	9.16	688.2639	69.65
137	Y 28 D	51	22	10.12	4.11	80.4717	14.31
138	Y 29 D	52	23	10.98	3.34	94.7169	8.38
142	Y 33 D	53	24	21.01	5.35	346.6387	24.44
151	Y 42 D	54	25	23.14	6.92	420.5890	35.61
152	Y 43 D	55	26	14.58	3.81	166.9245	12.52
162	Y 04 E	58	27	22.44	7.27	395.5190	41.50
173	Y 15 E	63	28	14.32	4.11	161.1440	13.19
186	Y 28 E	66	29	11.62	2.87	106.0168	7.37
187	Y 29 E	67	30	23.40	7.89	429.8964	22.67

Los atributos (y codificación respectiva) que le corresponden a cada copa de los árboles de la muestra (n), según su forma, van desde copas “buenas (2)” hasta “perfectas (1)”; asimismo, van desde “completa exposición a luz vertical (4)”, hasta “completa exposición a luz vertical y horizontal (5)”, según iluminación de la misma (Anexos 15 y 17).

i. Cálculo del Coeficiente de Correlación Producto-Momento de Pearson o “ r de Pearson” entre el DAP y el DC ($r_{DAP, DC}$)

Mediante cálculo en SPSS, el coeficiente de correlación “ r de Pearson” resultó de 0.937 (Tabla 9):

Tabla 9. Tabla de resultados correlación DAP con DC ($r_{DAP, DC}$)

		DAP (cm)	Diámetro Copa (m)
DAP (cm)	Correlación de Pearson	1	,937**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	30	30
Diámetro Copa (m)	Correlación de Pearson	,937**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	30	30

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Como se aprecia en la Tabla 9, el coeficiente de correlación $r = 0.937$, próximo a la unidad, define a la correlación entre el DAP y DC de árboles de *Aspidosperma polyneuron*, como “altamente positiva”; visible también en el diagrama de dispersión (Figura 28).

Como lo describen Romahn y Ramírez (2010), el diagrama de la Figura 28 expresa el común comportamiento de variables cuya correlación es positiva y

alta. El desarrollo del planteamiento que indican para el cálculo manual del “r de Pearson” se puede observar en el Anexo 17.

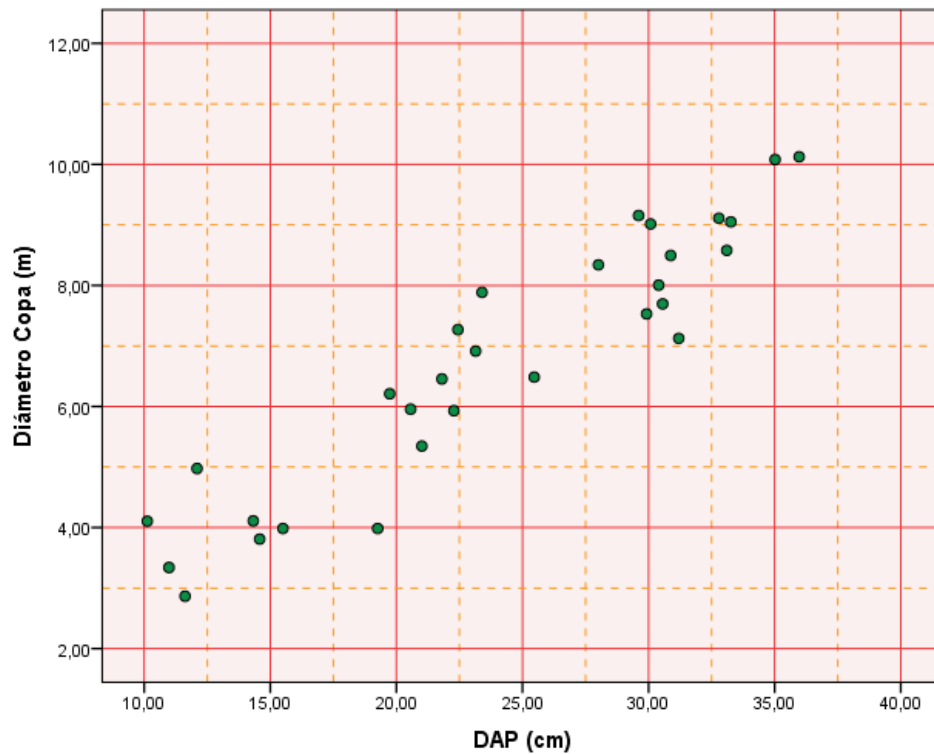


Figura 28. Diagrama de dispersión DAP - DC

En la Tabla 10 y la Figura 29 pueden apreciarse los resultados de la correlación complementaria, determinada en función al área basal (g) y el área de proyección de copa (AC).

Si bien, el “r” para la correlación entre “Área basal (g) con el Área de proyección de copa (AC)” resultó ser menor que la correlación “DAP y DC” ($0.768 < 0.937$); en ambas, ésta es significativa a 0.01 (equivalente a 1 %), lo que también la hace significativa a 0.05 (equivalente a decir, “con un error al 5 %”).

Tabla 10. Tabla de resultados correlación entre el Área basal “g” con el Área de proyección de copa “AC” ($r_{g, AC}$)

		Área basal “g” (cm ²)	Área de proyección de copa “AC” (m ²)
Área basal (g)	Correlación de Pearson	1	,768**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	30	30
Área de proyección de copa (AC)	Correlación de Pearson	,768**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	30	30

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

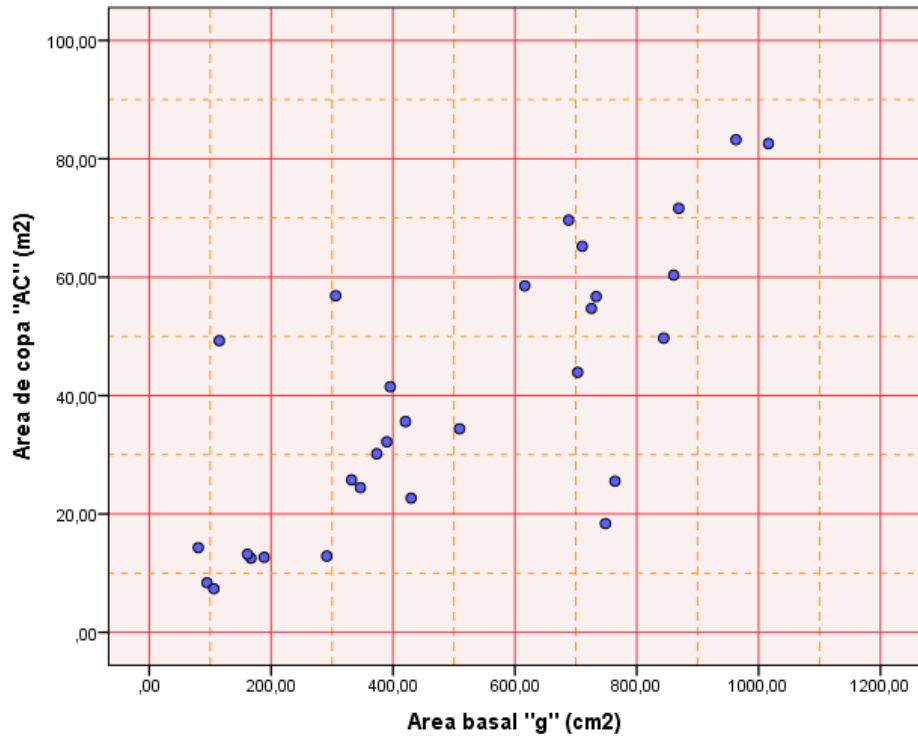


Figura 29. Diagrama de dispersión Área basal (g) - Área de proyección de copa (AC)

Por otro lado, teniendo en consideración los valores “ r de Pearson” calculados ($r_{DAP, DC} = 0.937$ y $r_{g, AC} = 0.768$), según la interpretación sugerida por Vargas (2007), la intensidad y dirección de ambos demuestra una **correlación positiva fuerte**.

ii. Ecuación de regresión lineal

Dada la confiabilidad de la correlación, mediante el “ r de Pearson”, fue también viable generar el modelo de regresión lineal bajo la notación:

$$y = b_0 + b_1x$$

Según Vargas (2007), el Coeficiente Determinación Muestral está representado por R^2 o r^2 ; además, menciona que, éste da una mejor interpretación de la fuerza de relación entre las variables “ x ” e “ y ”, que el coeficiente de correlación (r).

En tal sentido, respecto a la correlación entre DAP y DC ($r_{DAP, DC} = 0.937$), el coeficiente de determinación $R^2 = 0.878$ u 87.80 %, visible en la Figura 30; indica que, aproximadamente el 87.80 % de la variación de los valores de “ y ” (diámetro de copa proyectada) se deben al modelo de regresión estimado:

$$y = 0.71 + 0.25x$$

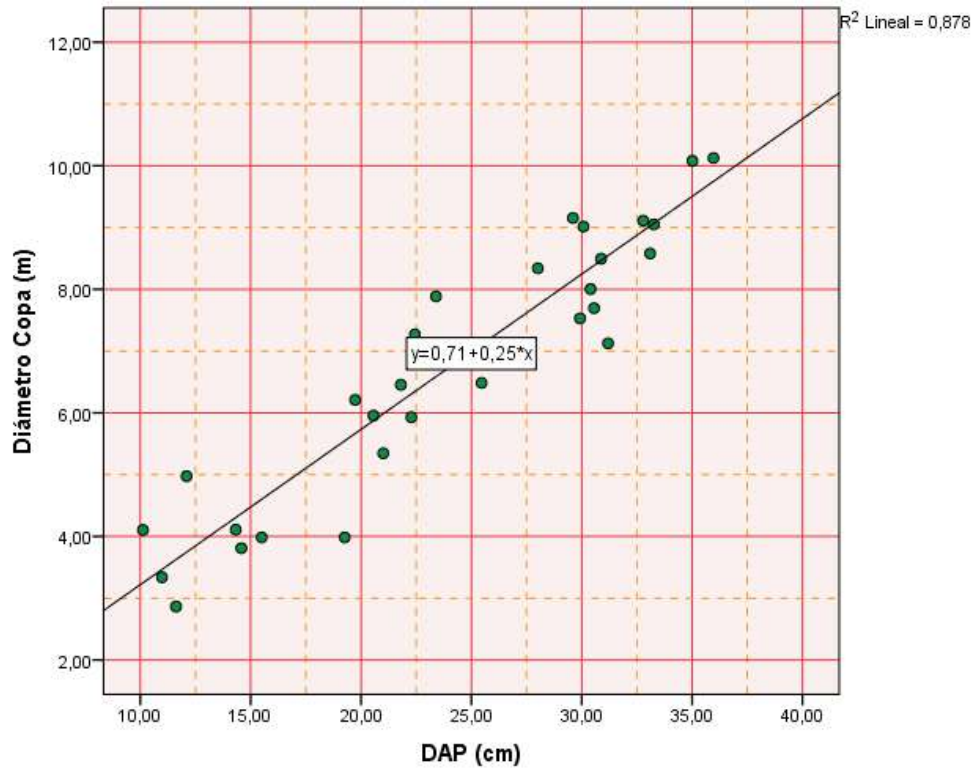


Figura 30. Ecuación de regresión lineal y Coeficiente de determinación muestral (R^2 o r^2) calculado en SPSS, respecto a la correlación entre DAP y DC ($r_{DAP, DC}$)

En el Anexo 18, se muestra también el planteamiento para el cálculo manual de los coeficientes b_0 y b_1 que describe Dicovski (2016).

4.2. DISCUSIÓN

Como precisan Pinheiro et al., citados por Cañadas et al. (2001:2), “la anchura de las copas se considera ligada, normalmente de forma lineal, al menos al diámetro normal del árbol”. Efectivamente, la correlación obtenida entre las variables dendrométricas “Diámetro a la altura del pecho” (DAP) y “Diámetro de copa” (DC) entendida como la proyección de la misma sobre el plano horizontal, en *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (acerillo), resultó ser directa; y, además, “altamente positiva” ($r_{DAP, DC} = 0.937$).

De las zonas identificadas, las involucradas en el estudio para correlacionar dichas variables (“A”, “C”, “D” y “E”) se caracterizaron por ser ambientes; de “ralos”, a “parcialmente ralos”. En áreas de ese tipo, los árboles crecen libremente, explica Aldana (2008) y en su mayoría, manifiestan una relación lineal entre el Diámetro de copa (DC) y el Diámetro a 1.30 metros (DAP); situación que es determinante en el factor de competencia de copas. Por el contrario, un área con alta densidad de árboles (como en la zona “B”); evidencia una fuerte competencia por la luz y niveles fotosintéticos bajos, que derivan en un pobre crecimiento en diámetro (Benítez et al. 2003); razón por la cual se descartó involucrarla en el estudio, aunque sí fueron identificados y registradas las mediciones de los árboles cuyo DAP resultaba \geq a 10 cm, juntamente con sus atributos.

La ecuación de regresión lineal que se logró determinar de forma complementaria, $y = 0.71 + 0.25x$; obedece al modelo predictivo para el DC a partir del DAP. No obstante, Arias (2005:9) indica que, “la variación de los diámetros de copa para un mismo valor de diámetro del árbol puede ser muy grande, hasta el punto que resta la posibilidad de estimar el diámetro de la copa en función del diámetro del árbol”. Así también, presenta la relación entre las variables DAP y DC de diferentes especies, respecto al “Coeficiente de Determinación Muestral” (R^2 o r^2); cuyos valores van desde 0.19 (*Gmelina arborea*), 0.28 (*Vochysia ferruginea*), 0.34 (*Pinus caribaea*), 0.37 (*Hieronyma alchorneoides*), 0.50 (*Terminalia amazonia*), hasta 0.55 (*Vochysia guatemalensis*).

Vargas (2007), señala que, dicho coeficiente (R^2 o r^2) brinda una mejor interpretación de la fuerza de relación entre las variables en estudio. Y considerando los resultados, en *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (acerillo) se ha obtenido un Coeficiente de Determinación Muestral mucho mayor ($R^2 = 0.878$), bajo la interpretación de que “el 87.80 % en la variación de los valores estimados en ‘y’ obedecen al modelo de regresión estimado”.

Los estudios con poblaciones de *Aspidosperma polyneuron* son escasos, por lo que la determinación del tamaño muestral (n) necesariamente estuvo circunscrita al Coeficiente de Variación (CV), según poblaciones infinitas. Con un resultado de 22 árboles, se tuvo a bien considerar un $n = 30$. La metodología adoptada en el estudio garantizó la confiabilidad en los resultados obtenidos. Puesto que, aunque se lograron identificar y georreferenciar 187 árboles con un DAP superior o igual a los 10 cm; la selección de individuos ha sido crucial para poder aplicar el estudio de correlación, ya sea por las evidencias geomorfológicas presentes en cada árbol, como por el índice de iluminación de sus copas.

Exceptuar árboles con claras evidencias de acción antrópica, concuerda con la afirmación de Montaner (2006), cuando precisa que las intervenciones silviculturales, como poda y raleo, afectan la factibilidad de delimitar correctamente la copa de un árbol.

Camacho, citado por Nuñez (2011), asegura que, existe una alta correlación entre el nivel de iluminación y la tasa de crecimiento de los árboles; por lo que, la iluminación que la copa de un árbol recibe es una de las variables más importantes en el estudio del crecimiento. Aunado a ello, Malleux (1970) explica que, cuando el crecimiento vertical cesa, el crecimiento horizontal (área basimétrica y de copa) siguen, pero a un ritmo lento; algo que también justifica el haber comprobado la correlación entre DAP y DC ($r_{DAP, DC}$) determinada, a razón de la correlación complementaria: relación entre "Área basal" y "Área de copa" ($r_{g, AC} = 0.768$). En torno a ello, Aldana (2008) indica que, el cálculo del área basal (g) de un árbol es afectado por su DAP; mientras que el área de copa (AC), siendo un indicador del área ocupada por los árboles, también se puede correlacionar con el DAP.

Por otro lado, necesario como lo anterior, ha sido lo dispuesto inicialmente para obtener cada medida de las variables dendrométricas en estudio. Comenzando por el "Diámetro a la altura del pecho" (DAP), a partir de la "Circunferencia a la altura del pecho" (CAP); puesto que, para objetivos de investigación, como refiere Aldana (2008): es conveniente considerar la medición de la CAP, antes que el DAP, pues un error de 1 cm en la medición de la CAP resulta en un valor inferior a 0.3 cm en el DAP; contrario a realizar mediciones del DAP, pues un error de 1 cm, resultaría en más de 3 cm de error en la CAP.

En cuanto al "Diámetro de copa" (DC), aunque siendo un concepto útil en ciertos estudios silviculturales, refiere Lema (1985), posee grandes problemas de orden técnico en su medición. Algo evidente, puesto que, tradicionalmente, su cálculo

ha estado supeditado a una proyección ortogonal de la misma sobre la base del árbol; llegando incluso a reportarse dos aparatos de fácil construcción para dicho fin (Emlen y U.S. Service Forest, citados por Lema 1985).

Sin embargo, para Lema (1985:171), “es difícil la proyección de la copa aún con aparatos sofisticados para ello”. En consecuencia, con el paso del tiempo, la percepción remota ha resultado una alternativa interesante a los métodos tradicionales de estudio del campo (von Martini et al. s.f.). Es más, en asuntos forestales, Schreuder (1963) considera que, las fotografías sirven como memorias forestales, dado que la información que contienen no puede reducirse fácilmente en forma de mapas o en palabras y, aun así, son fáciles de archivar. Por las razones expuestas, se ha considerado conveniente el uso del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) para la obtención de fotografías aéreas, su posterior delimitación de copas y finalmente, la obtención del diámetro promedio a partir de la medición de sus cuatro radios, como es sugerido en estudios de antaño.

Una variable complementaria a las ya mencionadas, ha sido el registro de la altura (h), tanto comercial, como total. Aunque la relación hipsométrica de la altura con el DAP está comprobada por diversos estudios; respecto a su cálculo en base al tamaño muestral determinado en el presente estudio ($n = 30$), Imaña-Encinas (2011) indica que no se debería efectuar con menos de 60 árboles medidos, puesto que, la literatura registra que, en muchos trabajos la seguridad estadística de dicha relación hipsométrica, está con la medida en aproximadamente de 100 árboles.

Si bien, en todo inventario existen niveles de error en la medición, que son aceptables; la delimitación automática de copas mediante algoritmos no se encuentra exenta de ellos (Montaner 2006). Por ello, la delimitación manual de las copas de *Aspidosperma polyneuron*, realizadas en ArcGIS, han permitido obtener mediciones más precisas; a través de la combinación de bandas RGB de cada ortomosaico que fue obtenido a partir de la funcionalidad de los sensores (de los que se encuentra provisto un RPA o “drone”), puesto que, según la afirmación de Kinn y Benkelman (c2016): ven más de lo que ven nuestros ojos y nos permiten observar lo que no resulta evidente, más allá de los límites que perciben nuestros ojos.

Con esto, no solo se ha puesto de manifiesto la correlación directa entre las variables DAP y DC, que de por sí, para Benítez et al. (2003) es lógica; en

Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. (acerillo) ésta ha resultado ser altamente positiva. También ha sido demostrada y probada la precisión que se puede lograr mediante la teledetección con RPAs (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia), sostenida como disciplina reciente para tratamientos en el ámbito forestal; a diferencia de los avances en agricultura, y que en resumidas cuentas, según Pérez (2012), correspondería denominarla “Silvicultura de precisión”.

Con la ecuación de regresión lineal determinada, resulta inherente desestimar el punto de vista silvicultural; y aunque *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (acerillo) carezca de atención debido a su lento crecimiento. Como inicialmente se mencionó, su estudio es incipiente a comparación de regiones vecinas como en Argentina y Colombia donde ha merecido especial atención. Sus poblaciones han sido relegadas a pequeños fragmentos, aún conservados por iniciativas de conservación privada. Ello indica, se cuenta con fuentes semilleras, considerando que entre una de las oportunidades a mediano y largo plazo que vislumbra el INIA, es la de aumentar la oferta efectiva de semillas forestales nativas mejoradas con el fin de reducir el riesgo de su desaparición, de lo mono específico y de la demanda insatisfecha (Cuellar et al. 2016).

Y como explica Mamani, especialista en Restauración del SERFOR, “en la restauración es apelar a una gran diversidad de especies que se pueden aprovechar mediante el manejo de la regeneración, el aprovechamiento de brinjal, otras formas de propagación; pero también, conociendo la relevancia en cuanto al potencial que tienen estas especies” (EcoDecisión 2019). Algo necesario con la especie de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., que de por sí, constituye conocimiento en los tres niveles planteados por Román et al. (2018): histórico, local y científico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinó que existe correlación alta y positiva entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. de una muestra (n) de 30 individuos.

Se obtuvo el diámetro a la altura de pecho (DAP) por medición directa, a partir de la circunferencia (CAP); siendo los valores mínimo y máximo de DAP registrados en la unidad de muestreo (n): 10.12 cm y 35.97 cm respectivamente.

Se obtuvo el diámetro de copa (DC) mediante copas digitalizadas y a razón del promedio del diámetro máximo y mínimo (por copa proyectada); los valores obtenidos entre la muestra (n), están entre el rango de 2.87 a 10.13 m.

El coeficiente de correlación (r) para los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. es de 0.937, con un coeficiente de determinación muestral (r^2 o R^2) de 0.878.

5.2. RECOMENDACIONES

La reforestación apela al uso de especies resilientes, por lo que se debe profundizar en el estudio de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. ya que se cuenta con fuentes semilleras y rodales naturales en zonas aledañas a la estudiada; tanto para optimar su propagación, como para determinar más de una variable, con la seguridad estadística que se puede lograr de combinar la metodología tradicional de medición de los parámetros silviculturales, con la aplicación del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs),

Además del estudio en rodales de *Aspidosperma polyneuron*, mediante el uso de dron o RPA (Aeronaves Pilotadas a Distancia), éste se debe aplicar en estudios con plantaciones forestales de la especie y otras más; en ellas es factible aplicar todas las particularidades que el equipo ostenta, sin restricciones. Si bien, rodales muy densos restringen la teledetección, imposibilitando la adecuada delimitación de copas, ya sea por digitalización manual o mediante la aplicación de algoritmos, de este segundo, se carece de estudios con la especie estudiada, por lo que es necesario generarlos, dado que también coadyuvan a los fines silviculturales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDA (Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente). 2018. Seminario virtual “Informe IPCC: Tendencias e impactos del 1,5 °C ¿De quién es el turno ahora?” (en línea, transmisión en vivo). Quintanilla, V; Guzmán, S (eds.). Vera, C; Camilloni, I; Araya, M; Ellinger, P; Guillén, T (colabs.). San Francisco, California, USA. 18 oct. Consultado 22 oct. 2018. Disponible en https://aida-americas.org/es/blog/seminario-virtual-informe-ipcc-tendencias-e-impactos-del-1-5-c?utm_source=Bienvenida+%22IPCC+Webinar%22&utm_campaign=Webinars&utm_medium=email

Aldana, E. 2008. Medición Forestal: Texto para la Carrera de Ingeniería Forestal (en línea). s. n. t. 326 p. Consultado 23 nov. 2019. Disponible en http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/MedF%2520Medici%25c3%25b3n%2520Forestal.pdf

AMEC (Aviation Maintenance & Engineering Consulting). 2011. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Chadín 2 Regiones Amazonas y Cajamarca (en línea). Perú. ii, 50, 59 p. Resumen Ejecutivo Proyecto N° 165725. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/79055307/Odebrecht-Proyecto-Hidroenergetico-Chadin-2-Resumen-Ejecutivo-Espanol>

Angulo, JC. 2015. Relación entre el diámetro de copa y del fuste de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, en la zona de Atalaya, Región Ucayali. Tesis Bach. Yarinacocha, Perú, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. xi. 48 p.

Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales (en línea). Kurú Revista Forestal 2(5):1-13. Consultado 13 nov. 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123399.pdf>

Benítez, JY; Rivero, M; Vidal, A; Rodríguez, J; Álvarez, RC. 2003. Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal ($d_{1,3}$) en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. (en línea). Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12(2):37-41. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/viewFile/2494/1875>

Blackie, R; Baldauf, C; Gautier, D; Gumbo, D; Kassa, H; Parthasarathy, N; Paumgarten, F; Sola, P; Pulla, S; Waeber, P; Sunderland, T. c2014. Bosques tropicales secos: El estado del conocimiento global y recomendaciones para investigaciones futuras (en

línea). Bogor, Indonesia, CIFOR. 32 p. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en http://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/DPBlackie1401S.pdf

Bravo, N. 2018. Capítulo 1.1: Introducción SIG, Teledetección, Fotogrametría y RPAS (en línea, video). Perú. 46 min. 57 seg., son., color. (Curso: Norma, Manejo y Procesamiento de datos de sistemas aéreos tripulado de forma remota "Drones"). Consultado 30 nov. 2019. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=7RNYJaqdbWU>

Camacho, M. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: guía para el establecimiento y medición (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52 p. (Serie técnica Manual técnico, N° 42). Consultado 6 may. 2019. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3290/Parcelas_permanentes_de_muestreo.pdf;jsessionid=E35845AA30F93B208E15AB55D441A893?sequence=1

Cañadas, MN; Güemes, CG; Garriga, E; Montero, G. 2001. Estimación de la dimensión de copa de los árboles de *Pinus pinea* L. en las masas del sistema central (en línea, base de datos). Congreso Forestal Español (3,2001, Granada, España). Valladolid, España, Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). 6 p. Consultado 26 set. 2019. Disponible en http://secoforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15771

Cárdenas, D; Salinas, NR (eds.). 2006. Libro rojo de plantas de Colombia: Especies maderables amenazadas, 1 (en línea). Bogotá, Colombia, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. p. 38-41. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b9038e3349a5.pdf>

Castañeda, MB; Cabrera, AF; Navarro, Y; de Vries, W. 2010. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: un libro práctico para investigadores y administradores educativos (en línea). Porto Alegre, Brasil, EDIPUCRS. 165 p. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/123456789/4538>

Catálogo de la biodiversidad. s. f. *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.: Nombres comunes, Taxonomía, Distribución (en línea). Incluye muestra botánica de J. Campos N° 6094-1999 de la especie para el Missouri Botanical Garden Herbarium. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en <http://catalogo.biodiversidad.co/file/56e5ed0483c45700544e3e8a/summary>

CELAEP (Centro de Latinoamericano de Postgrado, Perú). 2018. Monitoreo de flora y fauna silvestre (plataforma virtual). Trujillo, Perú. video mp4.

Cerrón, J; Fremout, T; Atkinson, R; Thomas, E; Cornelius, J. 2019. Experiencias de restauración y fuentes semilleras en el Bosque Seco Tropical del norte del Perú: Estado actual y lecciones aprendidas (en línea). Bioversity Internacional. 62 p. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://www.worldagroforestry.org/sites/agroforestry/files/output/Report%2520Dry%2520Forest.pdf>

Céspedes, EK. 2014. Asociación de la altura total y comercial con el diámetro de árboles comerciales de un bosque de terraza baja; distrito Yavari, Loreto – Perú (en línea). Tesis Ing. Forestal. San Juan, Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Consultado 6 jun. 2019. Disponible en http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3510/Edwin_Tesis_Titulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México). 2013. Generación de cartografía para aplicaciones catastrales y ambientales a partir de imágenes tomadas con vehículos aéreos (en línea, diapositiva). México. 7 diapositivas, color. Ficha Pública del Proyecto N° 199790. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/transparencia/transparencia-focalizada/fichas-publicas/2013/6133-199790-ficha-publica/file>

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México). 2016. El uso de nuevas tecnologías para el monitoreo forestal (en línea, sitio web). Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <http://www.cronica.com.mx/notas/2016/971471.html>

Corvalán, P; Hernández, J. 2009. Medición de copas y raíces (en línea). *In* Apuntes de dendrometría. Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 6 p. Consultado 23 mar. 2019. Disponible en https://www.ucursos.cl/forestal/2009/2/EF024/1/material_docente/bajar?id_material=481438

Cuellar J, Ugarte J, Vilcapoma E. 2016. Las Semillas Forestales en el Perú; Desafíos y Oportunidades (en línea, base de datos). Lima, Perú, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 76 p. Consultado 9 nov. 2019. Disponible en <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/734>

Chaca, R; Saravia, P; Paredes, K. 2016. Determinación del crecimiento de la cacha (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht) en un bosque transicional del Chaco a la

Chiquitanía, Santa Cruz, Bolivia (en línea). In Universidad Continental, Dirección de Investigación y Concytec Cienciactiva. Libro de Resúmenes Curso-Taller Dendrocronología y sus aplicaciones hidroclimáticas y ecológicas. Edición digital. Huancayo. p. 36. Consultado 7 may. 2019. Disponible en https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/2921/1/IV_FE_LI_Libro%20de%20res%C3%BAmenes.pdf

Chebez, JC. 1994. Los que se van (en línea). Argentina, Albatros. p. 494. Compendiado en: Lista de plantas amenazadas de la Argentina 2018. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/327670948_Lista_de_plantas_amenazadas_de_la_Argentina

Degiorgis, N; Solomon,A. 2018. The pigeon photographer (en línea, sitio web). Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://www.rorhof.com/book/the-pigeon-photographer/>

DGAC (División General de Aeronáutica Civil, Perú). 2015. Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (en línea). Norma Técnica Complementaria 001-2015. Perú. 12 p. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/tecnicas2/2015/NTC%20DRONES%20APROBACION/NTC%20Operaciones%20RPAS%20\(texto\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/tecnicas2/2015/NTC%20DRONES%20APROBACION/NTC%20Operaciones%20RPAS%20(texto).pdf)

Dicovski, LM. 2016. Estadística Básica para Ingenieros (en línea). Estelí, Nicaragua, Universidad Nacional de Ingeniería. iv, 175 p. Consultado 21 ene. 2019. Disponible en https://www.academia.edu/30795212/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_para_Ingenieros. DOI: https://www.u-cursos.cl/forestal/2009/2/EF024/1/material_docente/

EcoDecisión. 2019. Restauración de ecosistemas forestales en Perú (en línea, conferencia virtual). Lima, Perú. 30 abr. (Serie Infraestructura Natural). Proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica. Consultado 30 abr. 2019. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=tGM6cwX8jPs&list=LLI8mt39qhRdy8nMtNLne8uQ&index=87&t=3002s&ab_channel=CursosEcodecision

Erfurth, T; Rusche, H. 1977. La comercialización de las maderas tropicales en américa del sur: especies madereras de la selva tropical sudamericana (en línea). Roma, Italia, FAO. 66 p. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/ap008s/ap008s00.pdf>

Espinosa, CI; de la Cruz, M; Luzuriaga, AL; Escudero, A. 2012. Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación (en línea). *Ecosistemas* 21(1-2):167-179. Consultado 25 dic. 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/16374398.pdf>

Espinosa, ME. 2017. Respuesta de la vegetación nativa al trazo de la Falla Agua Blanca, Ensenada, Baja California (en línea). Tesis Maestría en Ciencias. Ensenada, Baja California, México, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). xii, 57 p. Consultado 6 dic. 2019. Disponible en <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/966/1/MarianaEEspinosaB.pdf>

FAO. s. f. La FAO, los bosques y el cambio climático: trabajando con los países para hacer frente al cambio climático por medio de la Gestión Forestal Sustentable. Roma, Italia. 20 p. Consultado 11 nov. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/017/i2906s/i2906s00.pdf>

Felipe, B. 2014. Estimación de variables dasométricas en masas de *Pinus nigra* a partir de datos LiDAR y fotogramétricos (en línea). Tesis Master en Geomática, Teledetección y Modelos Espaciales Aplicados a la Gestión Forestal. Córdoba, España. Universidad de Córdoba. III, 51 p. Consultado 15 nov. 2020. Disponible en https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13453/PFM_Beatriz_Felipe%20Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Figuerola, J; Stucchi, M; Rojas-VeraPinto, R. 2013. Redes de Conectividad: El oso andino como una especie importante en la conservación del bosque seco del Marañón (Cajamarca y Amazonas, Perú). Cooperación Internacional Alemana (GIZ), Asociación para la Investigación y Conservación de la Biodiversidad (AICB). 156 p.

Galván, OF; Rosado, EA; Riveros, L. 2011. Guía de Prácticas de inventarios forestales: Dendrometría y Epidometría (en línea). Yarinacocha, Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales. 32 p. Consultado 6 may. 2019. Disponible en <https://es.scribd.com/document/335540256/1-Guia-Practicas-Dendrometria-15may11>

García, A. 2014. Uso de imágenes de muy alta resolución en la gestión forestal. La teledetección aplicada a la detección temprana de plagas y enfermedades mediante UAV's/Drones (en línea, diapositiva). Escuela de Organización Industrial (EOI). España. 33 diapositivas, color. Consultado 30 nov. 2019. Disponible en http://www.eoi.es/fdi/sites/default/files/Sector%20Forestal_Uso%20de%20im%C3%A1

genes%20de%20muy%20alta%20resoluci%C3%B3n%20en%20la%20gesti%C3%B3n%20forestal.pdf

García, DL; Mesa, N; Ocampo, ML. 2015. Estandarización del protocolo de desinfección para la micropropagación de *Aspidosperma polyneuron* (en línea). Revista Colombiana de Biotecnología 17(2):76-84. Consultado 28 mar. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v17n2/v17n2a09.pdf> DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54277

Gasparri, B (ed.). 2016. Juan Carlos Chebez: el mayor difusor y protector de la naturaleza argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, Fundación de Historia Natural Félix de Azara. 496 p.

Giménez, AM; Ríos, NA. 1999. Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. Et Meyer, Anacardiaceae (en línea). Madera y Bosques 5(2):35-51. Consultado 6 jun. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/237221439_Crecimiento_de_Schinopsis_quebracho-colorado_Schlecht_Barkl_et_Meyer_Anacardiaceae

González, AR; Otárola, PC. 2017. Uso de sensores remotos y tecnología de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para apoyar la identificación de la salinización del suelo en San Miguel de Sema, Boyacá, Colombia (en línea). Tesis Título Ing. Geógrafo y Ambiental. Bogotá, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). 110 p. Consultado 7 dic. 2019. Disponible en <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/683/1/Trabajo%20de%20grado%20González-Ot%20lora.pdf>

GR-CAJ (Gobierno Regional de Cajamarca, Perú). 2014. Resolución Ejecutiva Regional n°498-2014-GR-CAJ/P (en línea). Cajamarca, Perú. 18 p. Consultado 25 nov. 2019. Incluye Informe Técnico n°75-2014-GR.CAJ-GRPPAT/SGAT-JLGM, de fecha 03-09-14. Disponible en <https://sitr.regioncajamarca.gob.pe/resolucion-ejecutiva-regional/>.

Grijpma, P. 1990. Producción Forestal. 2 ed. México, Trillas. 134 p. (Serie Manuales para Educación Agropecuaria, N° 54).

Guardia, S. 2004. Dinámica y efectos de un tratamiento silvicultural en el bosque secundario "Florencia", San Carlos, Costa Rica (en línea). Tesis M.Sc. Turrialba, CATIE. (141 p.). Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A0276e/A0276e.pdf>

Hess, AF; Loiola, T; Arruda, I; Nascimento, B. 2016. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil (en línea). *Bosque* 37(3):603-611. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v37n3/art17.pdf>

Imaña-Encinas. J. 2011. Mensura dasométrica (en línea). 2 ed. Brasilia, Brasil, Departamento de Engenharia Florestal (Universidade de Brasília). 113 p. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en https://www.academia.edu/39203779/Mensura_Dasom%C3%A9trica_Jos%C3%A9_Ima%C3%B1a-Encinas

IPCC. c2019. Calentamiento global de 1,5 °C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza (en línea). Masson-Delmotte, V; Zhai, P; Pörtner, HO; Roberts, D; Skea, J; Shukla, PR; Pirani, A; Moufouma-Okia, W; Péan, C; Pidcock, R; Connors, S; Matthews, JBR; Chen, Y; Zhou, X; Gomis, MI; Lonnoy, E; Maycock, T; Tignor, M; Waterfield, T (eds.). s. l., OMM, PNUMA. xi, 94 p. Consultado 24 nov. 2019. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Jaramillo, MM; Milkovic, M. 2014. Selva Paranaense: Acciones para promover su conservación y desarrollo sustentable. *Revista El Ojo del Cóndor* (5):4-12. Consultado 24 dic. 2019. Disponible en http://www.ign.gob.ar/descargas/elojodelcondor/Ojo_del_Condor_05.pdf

Juárez, Y. 2014. Dasometría: Apuntes de Clase y Guía de Actividades Prácticas (en línea). Cochabamba, Bolivia, s. e. 103 p. Consultado 17 jun. 2019. Disponible en https://www.academia.edu/35493332/DASOMETR%C3%8DA_Apuntes_de_Clase_y_Gu%C3%ADa_de_Actividades_Pr%C3%A1cticas?auto=download

Harder, C. c2016. Capítulo 2: La naturaleza de la teledetección. Los sensores nos proporcionan ojos sobrehumanos (en línea, libro digital). *In* Brown, C; Harder, C (eds.). *The ArcGIS Imagery Book: Nueva vista, Nueva visión*. Redland, California, Estados Unidos, ESRI Press. p. 19-34. Consultado 14 nov. 2020. Disponible en https://downloads.esri.com/LearnArcGIS/pdf/es/The-Imagery-Book_ES.pdf

Kinn, G; Benkelman, C. c2016. Capítulo 4: Percibir lo imperceptible. Los sensores nos proporcionan ojos sobrehumanos (en línea, libro digital). *In* Brown, C; Harder, C (eds.). The ArcGIS Imagery Book: Nueva vista, Nueva visión. Redland, California, Estados Unidos, ESRI Press. p. 51-72. Consultado 10 nov. 2019. Disponible en https://downloads.esri.com/LearnArcGIS/pdf/es/The-Imagery-Book_ES.pdf

Koch, B. s. f. La teledetección como apoyo a los inventarios forestales nacionales EFN (en línea). s. l., FAO, 18 p. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/Spanish/KR2_ES__8_.pdf

Kricher, J. c2010. Un Compañero Neotropical: Una introducción a los animales, plantas y ecosistemas del nuevo mundo (en línea). 2 ed. Jaramillo, A; Segura; L (eds.). United States of America, American Birding Association. xxv, 437 p. Consultado 13 nov. 2019. Disponible en <https://www.yumpu.com/es/document/read/14316007/un-companero-neotropical>

Lara, N; Chamorro, H. 2018. Uso de los Sensores Remotos en Mediciones Forestales (en línea). *EuropeanScientific Journal* 14(15):58-77. Consultado 16 dic. 2019. Disponible en <https://eujournal.org/index.php/esj/article/download/10859/10393> DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p58>

Lema, A. 1985. Dasometría: Algunas aproximaciones estadísticas a la medición forestal (en línea). Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Ciencias Forestales. xii, 401 p. Consultado 13 nov. 2019. Disponible en <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3983/1/058.pdf>

Linares-Palomino, R. 2004. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú (en línea). *Arnaldoa* 11(1):85-102. Consultado 27 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262102957_Los_BosquesTropicales_Estacionalmente_Secos_I_El_concepto_de_los_bosques_secos_en_el_Peru

Lizama, P; Boccardo, G. 2014. Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS): Ayudantía Estadística I 2014 (en línea, base de datos). Díaz, I; García, C; León, M; Ruiz, F; Torres, F (colabs.). Facultad de Ciencias Sociales FACSO (Universidad de Chile). (19 p.). (Serie Ayudantías, 1). Consultado 22 dic. 2019. Disponible en https://www.u-cursos.cl/facso/2014/2/SO01007/1/material_docente/bajar?id_material=994690

Lombardi, I; Barrena, V; Meléndez, M; Ramírez, R; Minaya, JC; Calderón, L. 2008. Metodología para Determinar el Factor de Pérdida por Defectos del Árbol en Pie a Madera Rolliza (en línea). Lima, Perú, UNALM - INRENA. 21 p. Consultado 17 may. 2019. Disponible en https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2008/resojefa/TRRM_A.Pie%20-%20Trozas_Propuesta_vs%205_Final.doc

Llerena, CA; Yalle, SR; Silvestre, E. 2014. Los bosques y el cambio climático en el Perú: situación y perspectivas. Lima, Perú, FAO. 73 p. Consultado 7 dic. 2019. Disponible en http://www.lamolina.edu.pe/facultad/forestales/web2007/PublicacionesYRevistas/pdf/Bosques_CC_Peru_12.05.15.pdf

Malleux, J. 1970. Estudio de la Relación D.A.P. con el Diámetro de Copa en un Bosque Húmedo Sub Tropical (en línea). Revista Forestal del Perú 4(1-2):1-5. Consultado 22 mar. 2019. Disponible en <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/viewFile/1089>

Marcelo-Peña, JL; Pennington, RT; Reynel, C; Zevallos; P. 2010. Guía ilustrada de la flora leñosa de los Bosques Estacionalmente Secos de Jaén. 1 ed. Marcelo-Peña, JL (ed.). Lima, Perú, Tarea Asociación Gráfica Educativa. 288 p. Incluye Claves de Identificación. p. 41-56.

Mazarotto, EJ; Pimentel, IC; de Abreu, DCA; dos Santos, AF. 2019. Association of *Fusarium* and *Phomopsis* with Peroba Rosa Seeds (en línea). Floreta e ambiente 26(9):1-7. Consultado 23 nov. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/floram/v26n2/2179-8087-floram-26-2-e20170515.pdf>. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051517>

Mejía, X; Vásquez, J. 2018. Conservación de la Biodiversidad a través del Manejo Forestal Ecológicamente Responsable en Bosques de la Amazonía (en línea, diapositiva). Belém, Brasil, Seearth, 56 diapositivas, color. (Nuevas tecnologías DRONE al Manejo Forestal Sostenible. Consultado 5 dic. 2019. Disponible en <https://seearth.com/seearth-site/wp-content/uploads/2019/04/CuRSO-DRONES-APLIACADOS-A-LA-ING-FORESTAL-BRASIL-SEP-2018.pdf>

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2010. Guía de evaluación de flora y fauna silvestre. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (ed.). Lima, Perú. 64 p. Documento de trabajo.

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2014. Perú Reino de Bosques. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (coord.). Lima, Perú, Editorial Etiqueta Negra. 313 p.

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú); MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú). 2011. El Perú de los Bosques (en línea). Cooperación Internacional Alemana (GIZ). 139 p. Consultado 16 ene. 2019. Disponible en <http://www.bosques.gob.pe/archivo/files/pdf/elperudelosbosques2011.pdf>

Montaner, DA. 2006. Segmentación automática de copas de árboles en plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) usando fotografías aéreas digitales (en línea). Tesis Título. Santiago, Universidad de Chile. 73 p. Consultado 28 may. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/30753457_Segmentacion_automatica_de_copas_de_arboles_en_plantaciones_de_Pinus_Radiata_D_Don_usando_fotografias_aereas_digitales/download

Nuñez, BA. 2011. Efectos del Tratamiento Silvicultural de Corta intermedia en el Bosque residual de Colinas, Tingo María (en línea). Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. (13), 84 p. Consultado 21 jun. 2019. Disponible en <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/950/T.FRS-118.pdf?sequence=1&isAllowed%20=y>

Nyysönen, A. 1962. Las fotografías aéreas de los Bosques Tropicales (en línea). Unasylva Revista de silvicultura y Productos Forestales 16(1): s. p. Consultado 24 abr. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a3200s/a3200s02.htm#las%20fotograf%C3%ADas%20a%C3%A9reas%20de%20los%20bosques%20tropicales>

Oñorbe, P. 2016. Teledetección en general y aplicaciones en el sector Medioambiental (en línea). In CONAMA (Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid). Teledetección y sensores medioambientales. Madrid, España, CONAMA. p. 17-27. Consultado 7 nov. 2019. Disponible en http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/14_final.pdf

Oropeza, J. 2019. Fotogrametría Digital con Drones RTK/PPK (en línea, video). s.l. 1 hr., 3 min., 8 seg., son., color. Consultado 30 nov. 2019. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=XEnRu5lvBHs&t=151s>

Pérez, E. 2012. Elementos para un modelo de desarrollo en plantaciones forestales de la Sierra Madre Occidental en Durango, México (en línea). Tesis doctoral. Sevilla, España, Universidad de Sevilla. 549 p. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/24226/GEOHIS-PROV11.pdf;jsessionid=035D5501FE39CB8F4AAFA50928E69630?sequence=-1>

Perry, K. 2017. Dr. Neubronner's Pigeon Photographers (en línea, fotografía). s.l., ati (All Thats Interesting), Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://allthatsinteresting.com/dr-neubronners-pigeon-photographers>

Pinazo, M; Moscovich, F; Dummel; C; Knebel, O. 2009. Patrón espacial de la regeneración de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. en un bosque sometido a aprovechamiento selectivo en el norte de la provincia de misiones (en línea). *Ciência Florestal* 19(3):237-245. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v19n3/1980-5098-cflo-19-03-00237.pdf>

Plací, G; Di Bitetti, M. 2006. Ecorregión Selva Paranaense: Situación ambiental en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). *In* Brown, A; Martinez Ortiz, U; Acerbi, M; Corcuera, J (eds.). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Buenos aires, Fundación Vida Silvestre Argentina. p. 196-225.

Poder Legislativo Provincial. 1986. Ley N° 2380, Especies vegetales protegidas (en línea). Misiones, Argentina. s. p. También en: Consultado 24 dic. 2019. Disponible en http://www.ecofield.net/Legales/Misiones/ley2380_MI.htm

Prieto-Torres, DA; Rojas-Soto, O; Santiago-Alarcón, D; Bonaccorso, E; Nori, J; Navarro-Sigüenza, AG. 2018. Las aves de los bosques secos neotropicales y su conservación (en línea). Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/articulos/sostenibilidad-cdmx/389-aves-bosques-secos>

RAINFOR (Red Amazónica de Inventarios Forestales). 2016. Manual de Campo para el Establecimiento y la Remedición de Parcelas. 2 ed. Phillips, O; Baker, T; Feldpausch, T; Brienen, R (eds.). Almeida, S; Arroyo, L; Aymard, G; Chave, J; Dávila, N; Chao, KJ; Higuchi, N; Honorio, E; Jiménez, E; Lewis, S; Lloyd, J; López-González, G; Malhi, Y; Marimon, B; Monteagudo, A; Neill, D; Patiño, S; Peacock, J; Peña, A; Peñuela, MC; Pickavance, G; Prieto, A; Quesada, C; Ramírez, F; Schwarz, M; Silva, J; Silveira, M; van der Heijden, G; Vásquez, R (colabs.). s. l. 28 p.

Red Escuelas. 2018. Drones y Agricultura de Precisión (en línea, programa virtual). Buenos Aires, Argentina, Dirección General de Cultura y Educación. 72 p. Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <http://abc.gob.ar/redescuelas/drones-y-agricultura-de-precisi%C3%B3n-0>

Reguant-Álvarez, M; Vilà-Baños, R; Torrado-Fonseca, M. 2018. La relación entre dos variables según la escala de medición con SPSS (en línea). REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació 11(2):45–60. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/148185/1/682741.pdf>. DOI: <http://doi.org/10.1344/reire2018.11.221733>

Ribas, LLF; Zanette, F; Kulchetscki, L; Guerra, MP. 2005. Micropropagação de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba rosa) a partir de segmentos nodais de mudas juvenis (en línea). Revista Árvore 29(4):517-524. Consultado en 23 nov. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n4/a03v29n4.pdf>

Rodríguez, ME; Cardozo, A; Díaz, MR; Prado, DE. 2006. Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas. Argentina, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). 34 p. Consultado 24 dic. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/252627957_Los_bosques_nativos_misioneros_estado_actual_de_su_conocimiento_y_perspectivas

Rodríguez, N. 2017. Plan de conservación y manejo del Cumalá *Aspidosperma polyneuron* (Mutis ex L.f.) Wess.Boer en la jurisdicción CAR (en línea). Bogotá, Colombia, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. 45 p. Consultado 23 dic. 2019. Disponible en <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b9038e3349a5.pdf>

Roldán, A; Checa, JM^a; Yañez, L; Miguelsanz, P; Escudero, R; Lario, F; Molina, S; Molina, S; Rejas, J; Redondo, J. 2017. Aplicación de drones (RPAS) en la gestión forestal: Resultados de proyectos piloto demostrativos (en línea, diapositiva). Plasencia, España. 13 diapositivas, color. (7º Congreso Forestal Español- 7CFE). Consultado 6 dic. 2019. Disponible en <http://7cfe.congresoforestal.es/sites/default/files/comunicaciones/131.pdf>

Romahn, CF; Ramírez, H. 2010. Dendrometría (en línea). Chapingo, México, División de Ciencias Forestales (Universidad Autónoma de Chapingo). xvii. 294 p. Consultado 28 dic. 2019. Disponible en https://www.academia.edu/20624110/Dendrometria_forest_mensuration_Medici%C3%B3n_forestal?auto=download

Román, F; Mamani, A; Cruz, A; Sandoval, C; Cuesta, F. 2018. Orientaciones para la Restauración de Ecosistemas forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre. Lima, Perú, SERFOR. 108 p.

Romo, V. 2018. Perú: bosques secos del Marañón ahora son un área de conservación regional (en línea, sitio web). Consultado 25 dic. 2019. Disponible en <https://es.mongabay.com/2018/06/bosques-secos-maranon-peru/>

Rügnitz, M; Chacón, M; Porró, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. 1 ed. Lima, Perú, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.

Ruiz, PA. s. f. Drones: tecnología en las alturas para silvicultura de precisión (en línea, sitio web). Revista M&M (Forestal). Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <https://revista-mm.com/forestal/drones-tecnologia-alturas-silvicultura-precision-2/>

Sánchez, LF; Marcos-Robles, JL; Herrero, E; Hernández, S, Carrión, P. 2016. Aplicación de tecnologías de teledetección al estudio de biomasa forestal (en línea). Risti Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información 9(19):71-76. Consultado 2 jun. 2019. Disponible en <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rist/n19/n19a06.pdf> DOI: 10.17013/risti.19.61-76

Sarre, A. 2001. En búsqueda de la precisión (en línea). OIMT Actualidad Forestal Tropical 9(3):12-13. Consultado 5 dic. 2019. Disponible en http://www.itto.int/files/user/tfu/back_issues_pdf/TFU.2001.03.Espanol.pdf

Schreuder, GF. 1963. Manual de fotogrametría forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 1. (Disciplina de dasonomía).

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú), Bioersity - Perú, ICRAF. 2018. Experiencias de restauración en el Perú: Lecciones aprendidas. Lima, Perú. 130 p.

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2015. Ley Forestal y de Fauna Silvestre Ley N° 29763 y sus Reglamentos. 2 ed. Lima, Perú. 345 p.

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2016. Lineamientos para la elaboración del Plan General de Manejo Forestal para concesiones forestales con fines maderables (en línea). *In* Resolución de Dirección Ejecutiva N°046-2016-SERFOR-DE. Diario Oficial El Peruano. 12 mar. (2 p.). 54 p. Incluye "Lineamientos para

la elaboración del Plan Operativo para concesiones forestales con fines maderables”. 34 p. Consultado 17 may. 2019. Disponible en <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RESOLUCI%C3%93N-DE-DIRECCI%C3%93NEJECUTIVA-N%C2%BA-046-2016-SERFOR-DE.pdf>

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2018. Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre aprobado mediante R.D.E. N° 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE. Lima, Perú. 48 p.

Smart Flight. 2016. [Smart Flight: simple, rápido, preciso, Servicios dron] (en línea, diapositiva). Úbeda, Jaén, España. 32 diapositivas, color. Consultado 30 nov. 2019. Disponible en <https://www.asajajaen.com/wp-content/uploads/2016/09/Utilidades-Drones-2016.pdf>

Suárez, R. 2013. Percepción Remota, su historia y sus aplicaciones (en línea, sitio web). Consultado 5 dic. 2019. Disponible en <https://aerolatinnews.com/industria-aeronautica/percepcion-remota-su-historia-y-sus-aplicaciones/>

Torres-Sánchez, J; López-Granados, F; Serrano, N; Arquero, O; Peña, J. 2015. Monitoreo 3D De Alto Rendimiento de Plantaciones Agrícolas con Tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados UAV (original en inglés) (en línea). PLOS ONE 10(6):1-20. Consultado 23 abr. 2019. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0130479&type=printable> DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>

UN CC:Learn (Iniciativa Una ONU: Asociación para el Aprendizaje sobre el Cambio Climático). s. f. Módulos introductorios de aprendizaje: 1, Ciencia del cambio climático (en línea, sitio web). Consultado 14 nov. 2019. Disponible en <https://www.uncclearn.org/es/modulos-introductorios-de-aprendizaje>

Uzquiano, S. 2014. Mediciones dendrométricas y dasométricas mediante técnicas LIDAR y fotogramétricas (en línea). Tesis Master. Valladolid, España, Universidad de Valladolid. 122 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/6587>

Vanegas, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias (en línea). México, CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. 158 p. Informe final dentro del

proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Consultado 6 nov. 2019. Disponible en https://www.academia.edu/31493921/.2_5_manual_mejores_practicas_restauracion_especies_nativas

Vargas, V. 2007. Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS. Calí, Colombia, Impresora Feriva. 312 p.

Vázquez, JC; Backhoff, MA. 2017. Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte (en línea). Sanfandila, Querétaro, México, Instituto Mexicano del Transporte. vii, 80 p. (Publicación Técnica, N° 490). Consultado 14 dic. 2019. Disponible en <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>

von Martini, A; Bragachini, M; Bianchini, A; Martellotto, E; Méndez, A. s. f. Percepción remota (en línea). Manfredi, Córdoba, Argentina, INTA. 20 p. Consultado 10 dic. 2019. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-percepcion-remota.pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXO

Anexo 1. Constancia de Autorización para desarrollo del Proyecto de Tesis



BOSQUE YANAHUANCA - BELLAVISTA

"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN

Conste por el presente documento, que el propietario de la reserva privada "Bosque Yanahuanca", suscribe:

Que a solicitud de **Marvín Lorenzo Vargas Pesantez** ex - alumno de la Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén. En su condición de Tesista, con el Proyecto denominado "**Correlación entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. en Jaén 2019**". Se le ha concedido permiso para la ejecución del mismo en el Bosque Yanahuanca, teniendo como principales actividades; la realización de tomas aéreas con dron y registro de inventario.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.




Exequiel Huancas Parihuaman
DNI N° 27705533

Bellavista, 30 de diciembre de 2019



Anexo 2. Caracteres morfológicos de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. del estudio



Foto 1. Árbol dicotómico, copa densa y ovalada, follaje color verde claro.



Foto 2. Tronco recto cilíndrico a ligeramente torcido



Foto 3. Corteza externa profundamente fisurada longitudinalmente, color grisáceo.



Foto 4. Ritidoma leñoso



Foto 5. Hojas simples, alternas a subopuestas; de borde sinuado o entero.



Foto 6. Láminas elípticas u oblongo-elípticas, de ápice obtuso y base cuneada u obtusa.

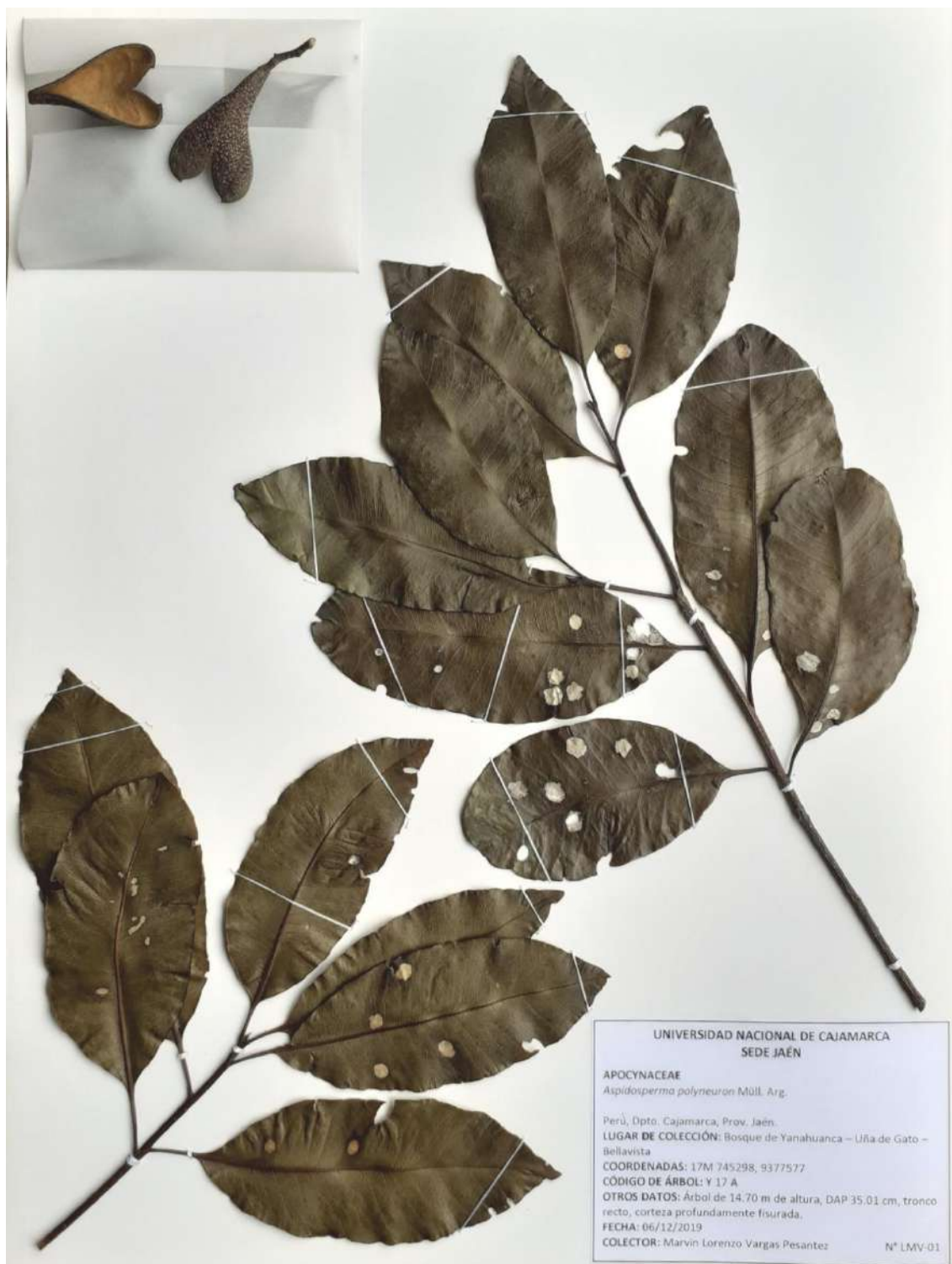


Foto 7. Hojas glabras y lustrosas. Con ramitas terminales cilíndricas.



Foto 8. Frutos secos dehiscentes, de tipo folículo y lenticelados.

Anexo 3. Montaje de una muestra botánica de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. y
Constancia de Determinación Botánica





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
 LABORATORIO DE DENDROLOGÍA Y HERBARIO



"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud de **Marvin Lorenzo Vargas Pesantez** ex - alumno de la Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén. Se proporciona la identidad del espécimen indicado

La información proporcionada por el depositante sobre las muestras es:

Proyecto: Tesis "Correlación entre los diámetros de fuste y copa de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. en Jaén 2019"

Zona de colección : Bosque de Yanahuanca – Uña de Gato – Bellavista.
 Provincia : Jaén
 Departamento : Cajamarca
 Colector : Marvin Lorenzo Vargas Pesantez

Nº COL	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
LMV-01	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg	APOCYNACEAE




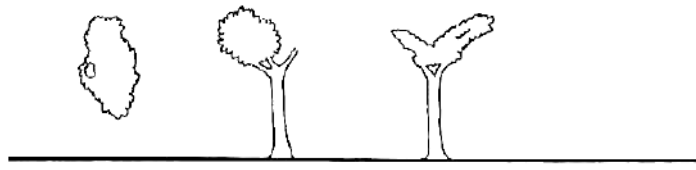
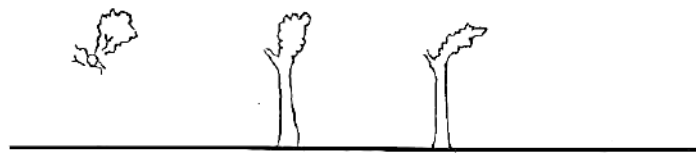


Determinado por:

Carlos Reynel Rodríguez Ph. D.
 Profesor Principal Dpto. Manejo Forestal
 Director del Laboratorio de Dendrología
 y Herbario Forestal UNALM (MOL)

La Molina, 10 de diciembre de 2019

Anexo 4. Protocolo de calificación para la “Forma de copa” según la clasificación de Dawkins (1958) que aparece en Synnott (1979)

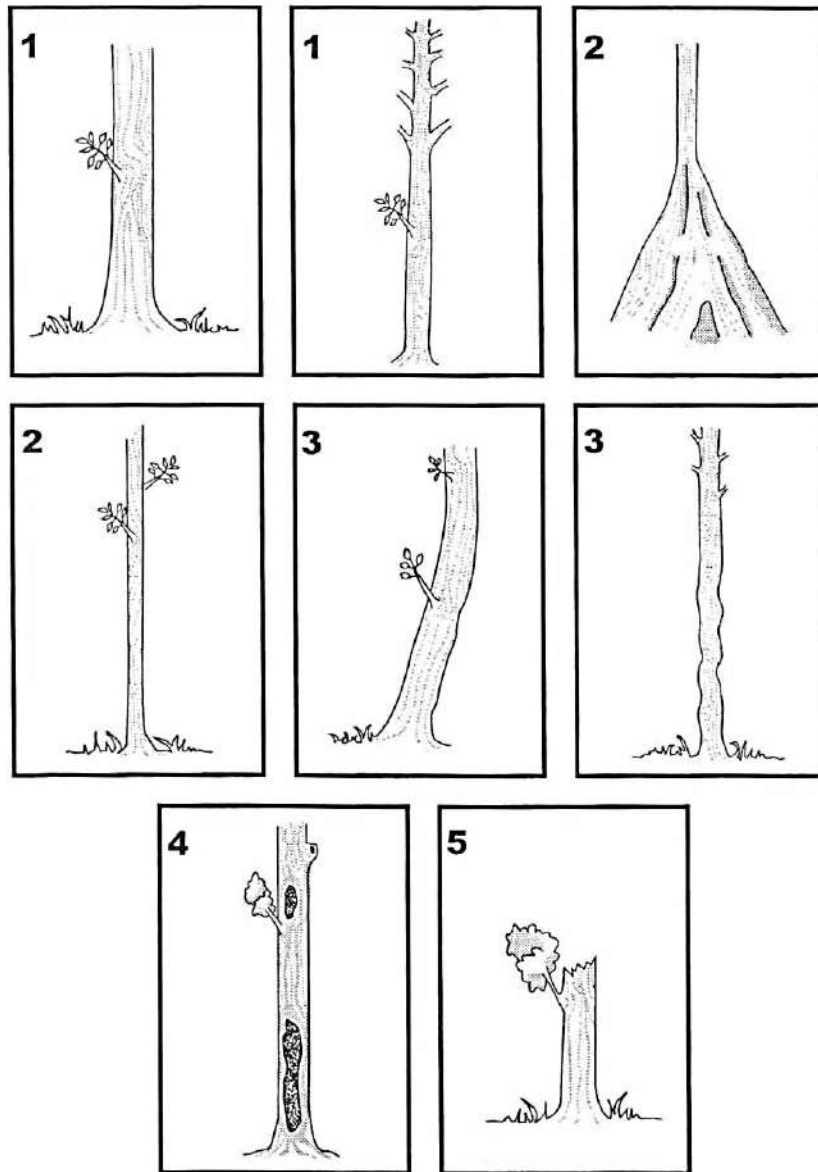
Círculo completo	Perfecta	1
		
Círculo irregular	Buena	2
		
Medio completo	Tolerable	3
		
Menos de medio círculo	Pobre	4
		
Solo una o pocas ramas	Muy pobre	5
		

Forma de la copa, según la clasificación de Dawkins (1958), adaptado de Alder y Synnott (1992)

- 1 Circular y simétrica
- 2 Circular irregular
- 3 Medio círculo o delgada
- 4 Menos de medio círculo
- 5 Pocas ramas

Fuente: Adaptado de Camacho 2000.

Anexo 5. Protocolo de calificación para la “Forma del fuste”, una adaptación de la clasificación de Hutchinson (citado en Pinelo 1997)



Valor comercial del fuste o calidad de fuste, adaptada de la clasificación de Hutchinson, citada en Pinelo (1997).

- 1 Actualmente maderable (dap \geq 60 cm, o diámetro mínimo de corta, con troza de al menos 4 m)
- 2 Potencialmente maderable (dap \geq 10 cm, con troza comercial de al menos 4 m)
- 3 Deformado
- 4 Dañado, podrido
- 5 3 + 4, quebrado bajo 4 m de altura o descopado totalmente

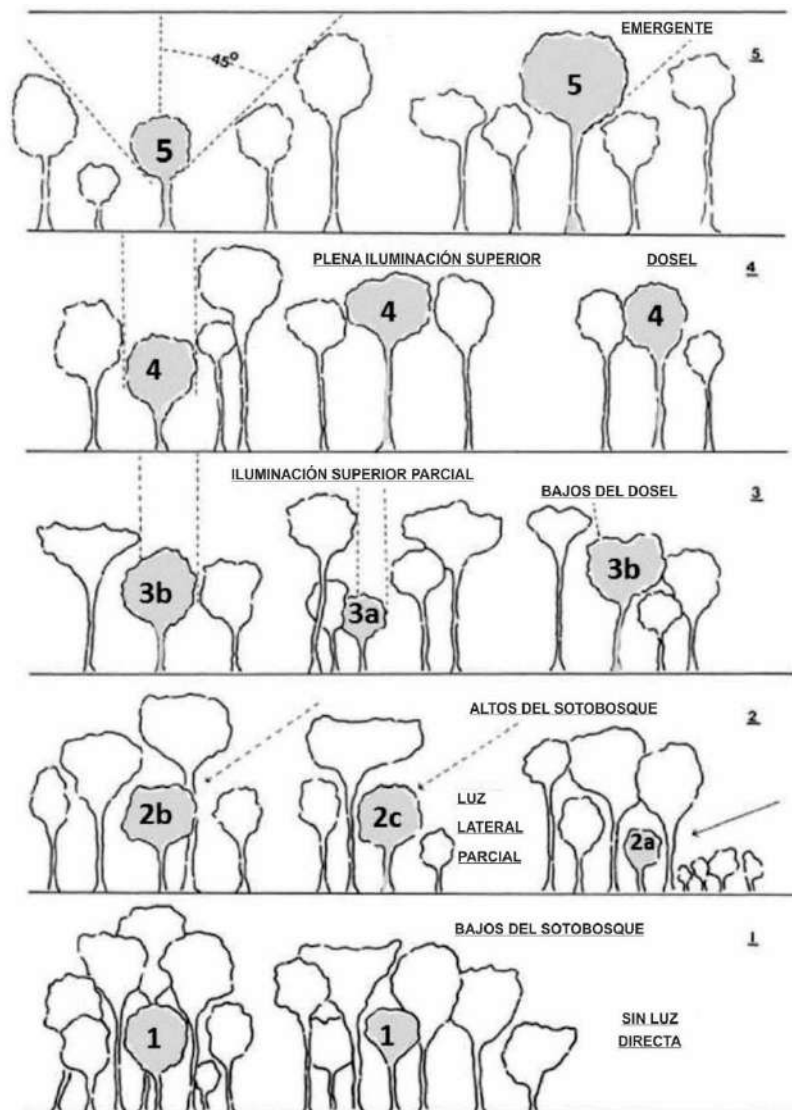
Fuente: Adaptado de Camacho 2000.

Anexo 6. Protocolo de calificación para el “Índice de iluminación de la copa”, una modificación de la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR), a partir del índice de Dawkins, Synnott y Moravie

La red RAINFOR utiliza una versión modificada del índice de Dawkins (Dawkins 1958), como en Synnott (1979) y Moravie (1999).

Definición del Índice

- 5 Copa completamente expuesta a luz vertical y horizontal en una curva de 45 grados, ej. emergente
- 4 Copa completamente expuesta a luz vertical (90-100% de la copa tiene luz), pero, la luz lateral está bloqueada en algunas áreas
- 3b Iluminación vertical alta (más que 50%)
- 3a Poca luz vertical (menos que 50% de la copa recibe luz)
- 2c Luz lateral alta
- 2b Luz lateral media
- 2a Luz lateral baja
- 1 No hay luz directa (la copa no está iluminada directamente vertical o lateralmente)



Fuente: Adaptado de RAINFOR 2016.

Anexo 7. Reconocimiento de la distribución espacial, registro en GPS y codificación de los árboles de acerillo



Foto 9. Parte del primer cercado con árboles de acerillo (Bloque I) en la "Zona A" desde vista Sureste.



Foto 10. **Acerillos en la "Zona A" (Bloque I).**
Árboles codificados (de derecha a izquierda): Y01A hasta Y08A.



Foto 11. Vista Suroeste de parte de los árboles de acerillo comprendidos en el segundo cercado (Bloque II) de la "Zona A".



Foto 12. Árboles de acerillo en dirección Noroeste de la "Zona A" (Bloque II).
Árboles codificados (de adelante hacia atrás): Y19A, Y23A, Y24A, Y25A, Y26A, Y27A e Y28A.



Foto 13. Vista Noroeste, árboles de acerillo de la “Zona A” ubicados en el tercer cercado (Bloque III).



Foto 14. Acerillos de la “Zona A” (Bloque III).
Árboles codificados, vista adelante (izquierda a derecha): Y47A, Y48A, Y49A; vista detrás (derecha a izquierda): Y50A, Y51A, Y52A.



Foto 15



Foto 16



Foto 17



Foto 18

Acerillos en la “Zona B”. Foto 15: Vista general del área en dirección Sureste (aledaño a cultivos de maíz y papaya). Foto 16: Vista interior del área (entrecruce excesivo de copas). Foto 17 y 18: Vista de la ramificación de las copas de los árboles de acerillo (inclinadas en exceso y defoliadas).



Foto 19. Vista general en dirección al Este de árboles de acerillo de la "Zona C".



Foto 20. "Zona C", entre las zonas de estudio, la de mayor espaciamento entre sus árboles, debido a que el área es empleada para cultivos agrícolas (maíz y papaya).



Foto 21



Foto 22

Foto 21 y 22. Acerillos de la "Zona C". Vista Noreste.
 Árboles codificados (derecha a izquierda): Y03C, Y10C, Y09C, Y12C, Y06C, Y13C e Y07C.



Foto 23



Foto 24



Foto 25

Acerillos de la "Zona D". Foto 23: Vista general del área en dirección al Norte. Foto 24: La "zona D" desde su parte media (vista con dirección Norte). Foto 25: Vista superior de una fracción de la zona con dirección Noroeste.



Foto 26



Foto 27



Foto 28



Foto 29

Acerillos de la "Zona E". Foto 26: Vista con dirección al Norte. Foto 27: Vista interior de una fracción del área desde su vista Oeste. Foto 28: Vista Sur de la zona, árboles codificados (desde adelante hacia atrás) Y01E, Y02E, Y03E, Y04E. Primeros árboles de la "zona E" con orientación al Sur. Foto 29: Vista Sur de la fracción intermedia del área.

Anexo 8. Árboles considerados en el pre muestreo (n_0) para el posterior cálculo del “coeficiente de variación” (CV) y “tamaño de muestra” (n) según la fórmula de poblaciones infinitas



Foto 30. Árbol Y 03 A



Foto 31. Árbol Y 07 A



Foto 32. Árbol Y 13 A



Foto 33. Árbol Y 15 A



Foto 34. Árbol Y 16 A



Foto 35. Árbol Y 18 A



Foto 36. Árbol Y 25 A



Foto 37. Árbol Y 42 A



Foto 38. Árbol Y 45 A



Foto 39. Árbol Y 49 A



Foto 40. Árbol Y 50 A



Foto 41. Árbol Y 53 A



Foto 42. Árbol Y 01 C



Foto 43. Árbol Y 02 C



Foto 44. Árbol Y 04 C



Foto 45. Árbol Y 05 C



Foto 46. Árbol Y 06 C



Foto 47. Árbol Y 07 C

Árboles de acerillo de la zona A y de la zona C.

Los árboles han sido codificados según nombre del área en estudio "Bosque Yanahuanca" (Y), así como de la numeración que le correspondiera y según cada zona que fue identificada (A, B, C, D y/o E).



Foto 48. Árbol Y 08 C



Foto 49. Árbol Y 10 C



Foto 50. Árbol Y 11 C



Foto 51. Árbol Y 05 D



Foto 52. Árbol Y 42 D



Foto 53. Árbol Y 02 E



Foto 54. Árbol Y 04 E



Foto 55. Árbol Y 07 E



Foto 56. Árbol Y 49 E

Árboles de acerillo de las zonas C, D y E.

Los árboles han sido codificados según nombre del área en estudio "Bosque Yanahuanca" (simbolizado con "Y"), así como de la numeración que le correspondiera y según cada zona que ha sido identificada ("A", "B", "C", "D" y/o "E").

Anexo 9. Actividades realizadas en campo, identificación y registro de variables y atributos de los árboles de acerillo (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.)



Foto 57

Algunos de los instrumentos empleados en campo: Protocolos de caracterización, GPS, clinómetro, cinta métrica, libreta de apuntes y cinta masking tape; junto a un brinzal de acerillo.

Codificación del primer árbol de acerillo en la "zona A": Y 01 A.



Foto 58



Foto 59

► Árboles de acerillo de la "zona D" marcados con pintura spray color azul honda durante el reconocimiento del área de estudio.



Foto 60

Foto 61

► De izquierda a derecha: Registro de la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) en árboles de acerillo de las zonas "A" y "B" respectivamente, para el posterior cálculo de DAP en gabinete.



Foto 62

► Registros de la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) en la zona "D", cuyo DAP resultara mayor a los 10 cm.



Foto 63

► Registro de los atributos por cada árbol identificado en la zona "B": Forma de fuste y Forma e Iluminación de copa.



Foto 64

Foto 65



Foto 66

► Medición indirecta usando clinómetro para la Longitud del Fuste (LF) y Altura Total (HT) de árboles de acerillo en la "Zona A" (Foto 64). Distancias horizontales del punto de medición al árbol, Foto 65: 15 metros. y Foto 66: 10 metros.



Foto 67

► Lectura superior para la obtención de la Longitud de Fuste (LF) del árbol “Y 03 C”, para con posterioridad, obtener el valor de la Altura Comercial (HC); descontando en gabinete la altura de tocón (0.30 m) a la longitud fustal hallada. Se observan al fondo (de derecha a izquierda) Árboles de acerillo de las zonas “D” y “E” respectivamente.



Foto 68



Foto 69

► Preparación y montaje de los componentes del Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAs).



Foto 70



Foto 71

► Sobrevuelo de las zonas con árboles de acerillo mediante RPAs (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia), con recorrido previo para su programación en software.

Anexo 10. Evidencias geomorfológicas encontradas, por las que árboles de acerillo fueron descartados para el análisis de correlación (criterios adicionales a la forma e iluminación de copa)



Foto 72. Árboles bifurcados por debajo de 1.30 metros



Foto 73. Árboles trifurcados desde la base



Foto 74. Árboles trifurcados a partir del tocón



Foto 75. Crecimiento desordenado y copa escasa



Foto 76. Árboles con rebrotes laterales



Foto 77. Rebrotos a la altura del tocón



Foto 78. Daño de fuste por acción antrópica

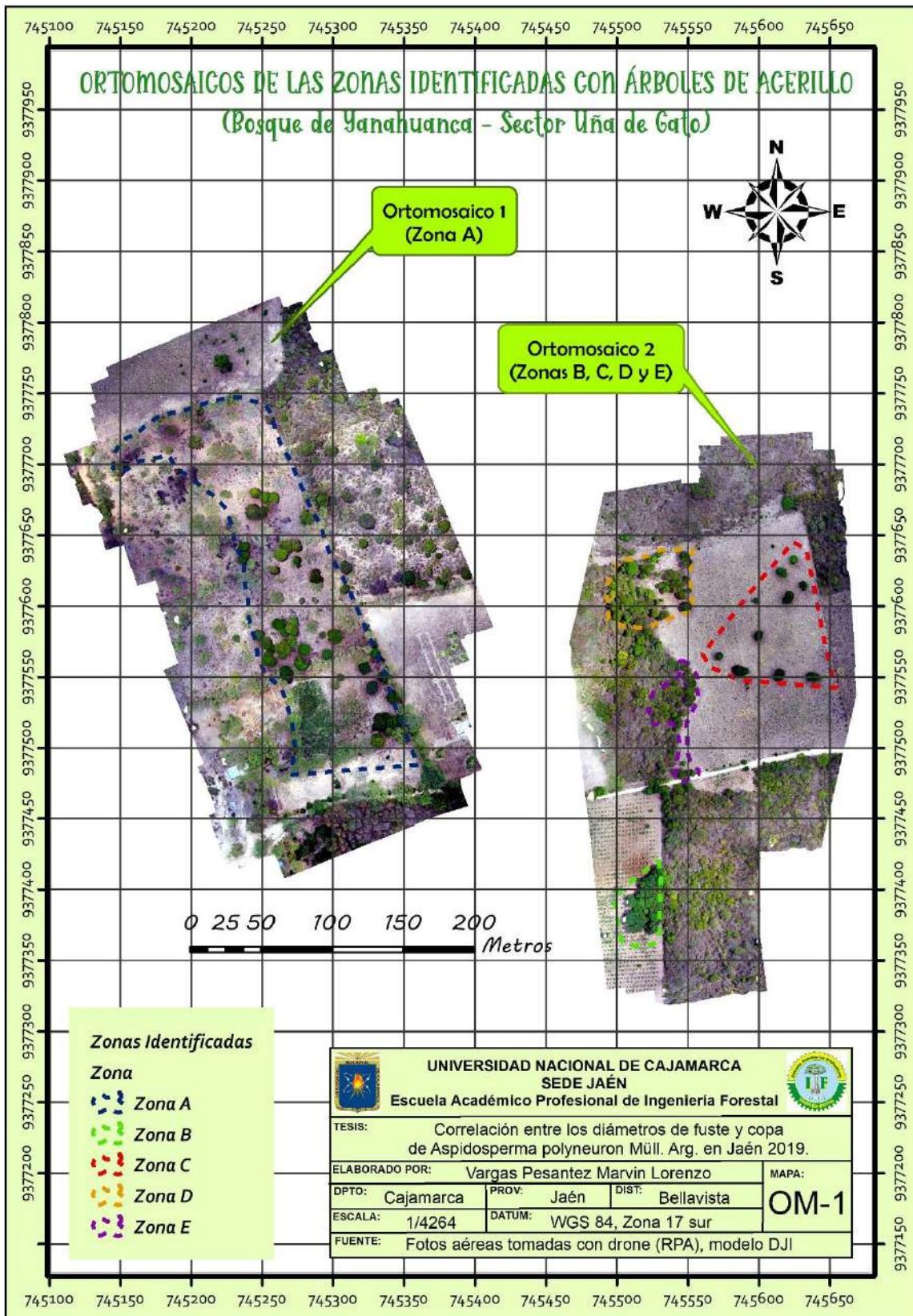


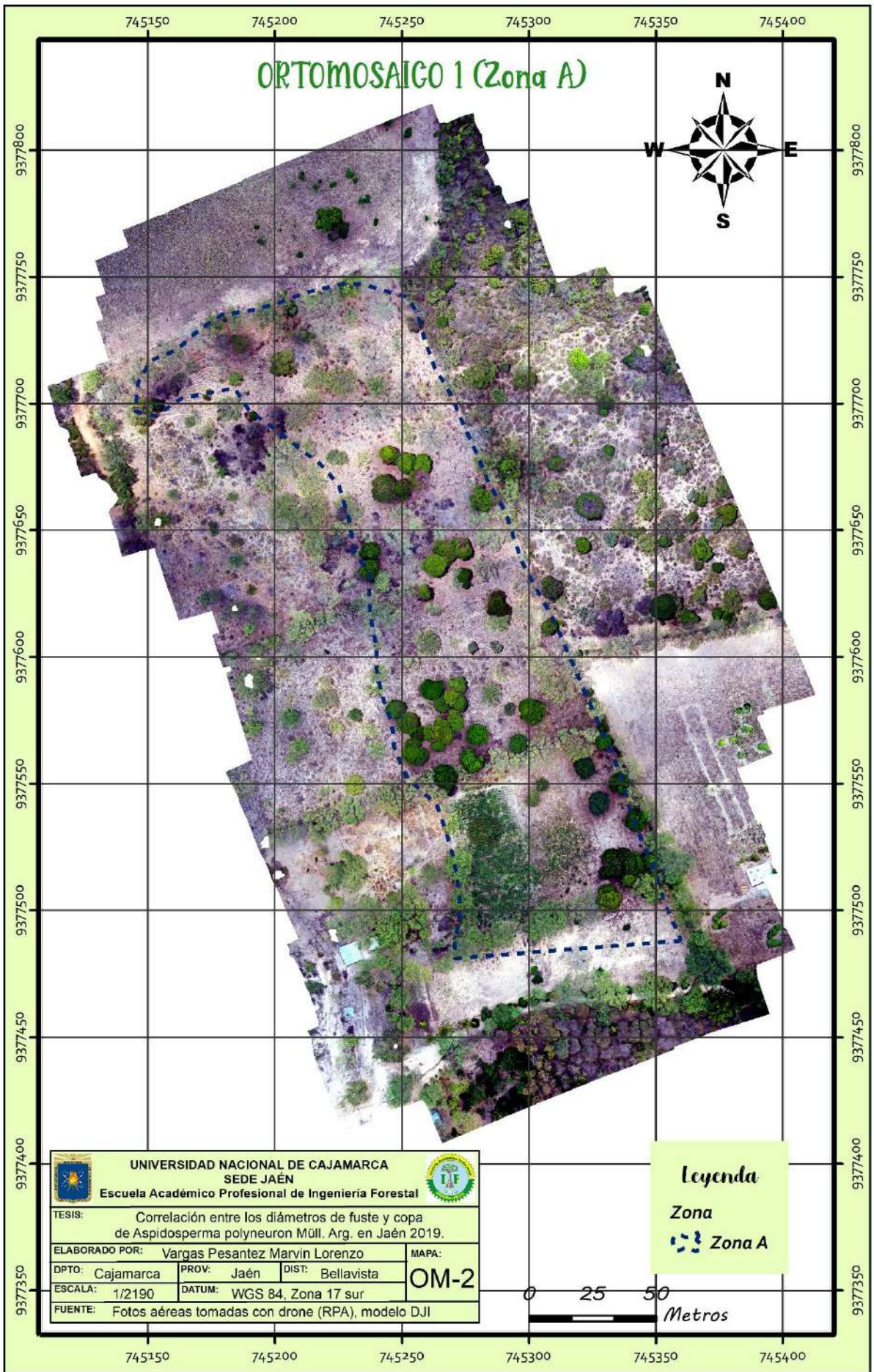
Foto 79. Descortezado por acción mecánica o antrópica

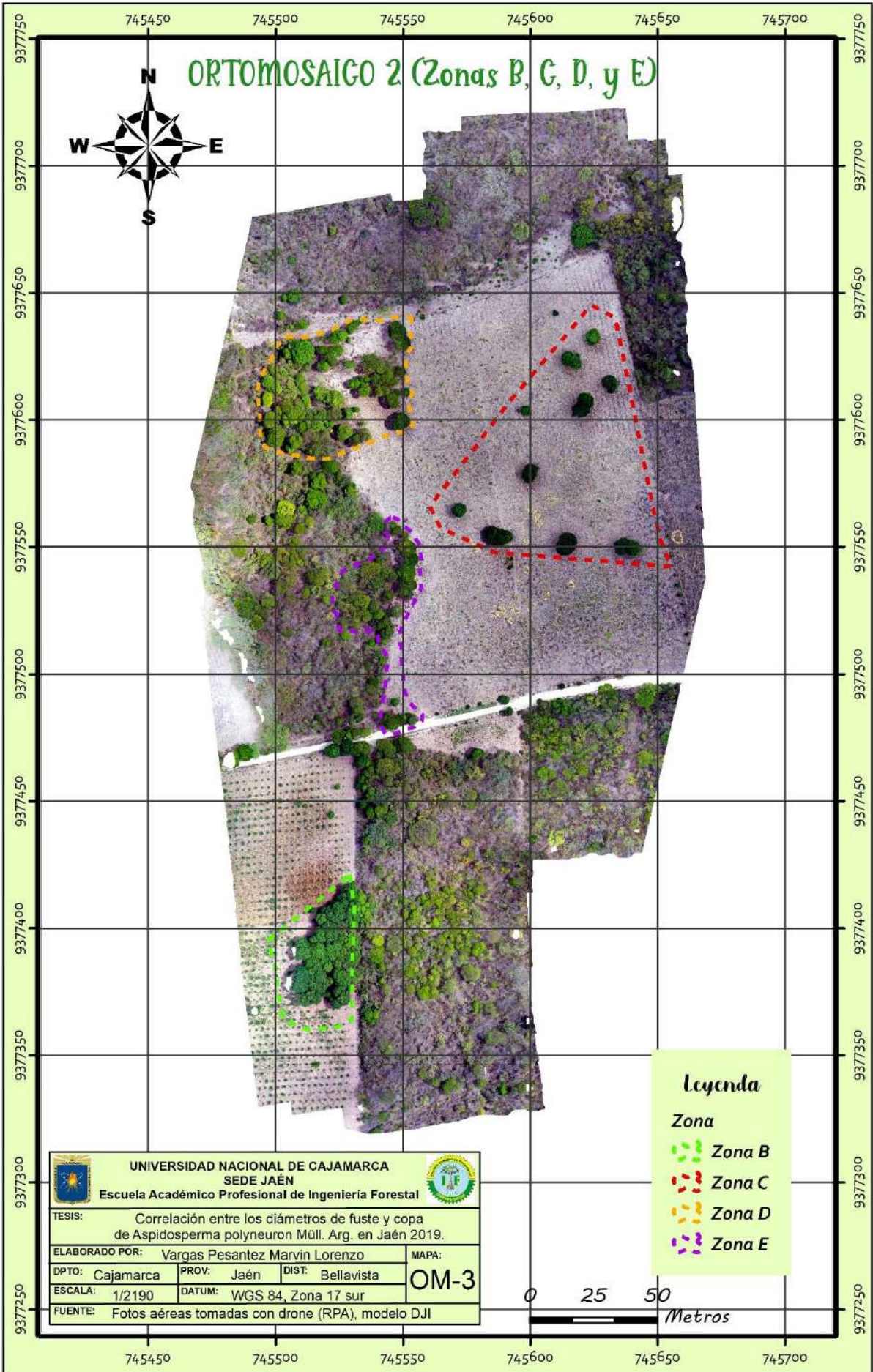


Foto 80. Defectos a lo largo del fuste

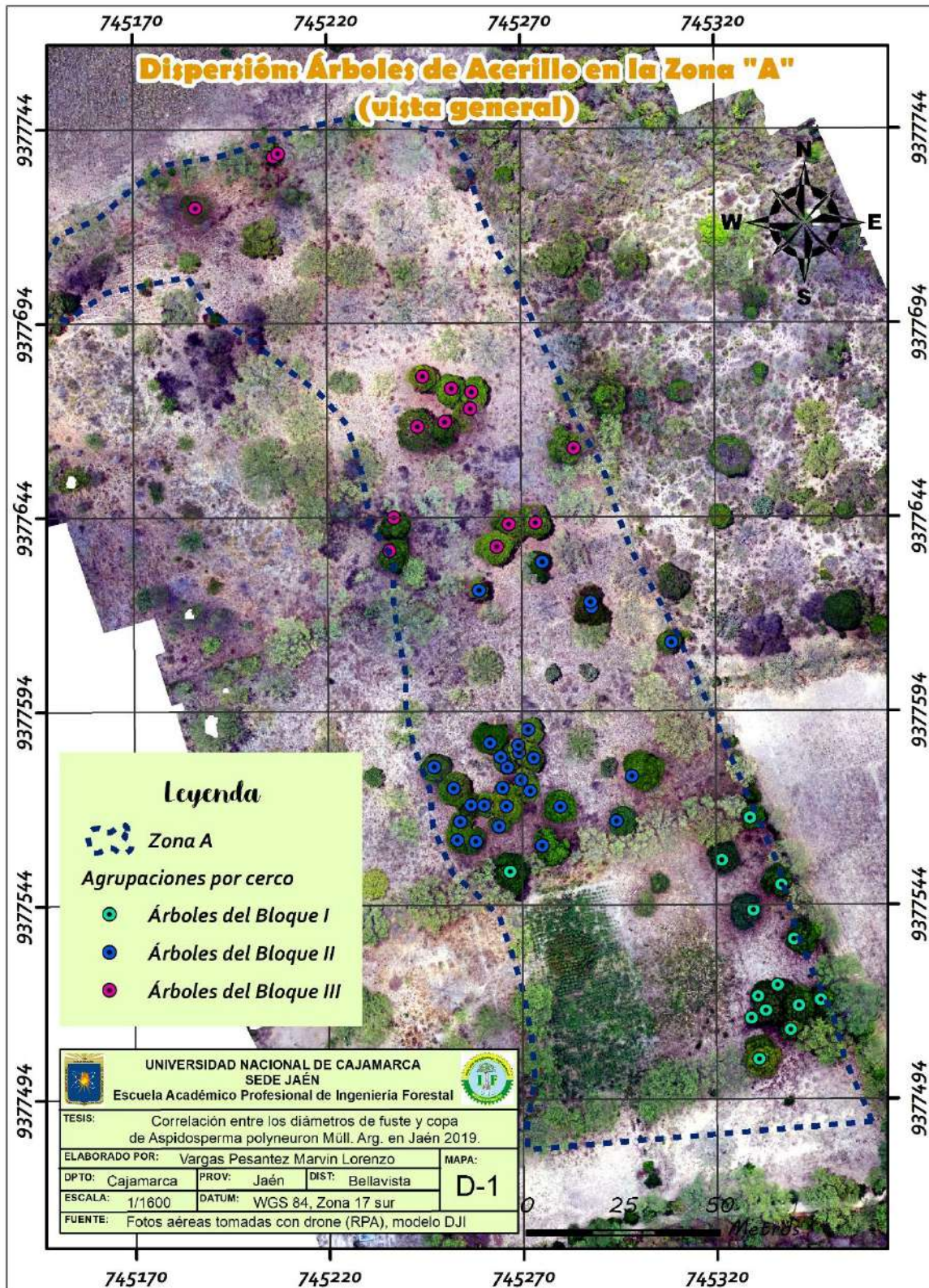
Anexo 11. Ortomosaicos de las zonas sobrevoladas mediante Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)



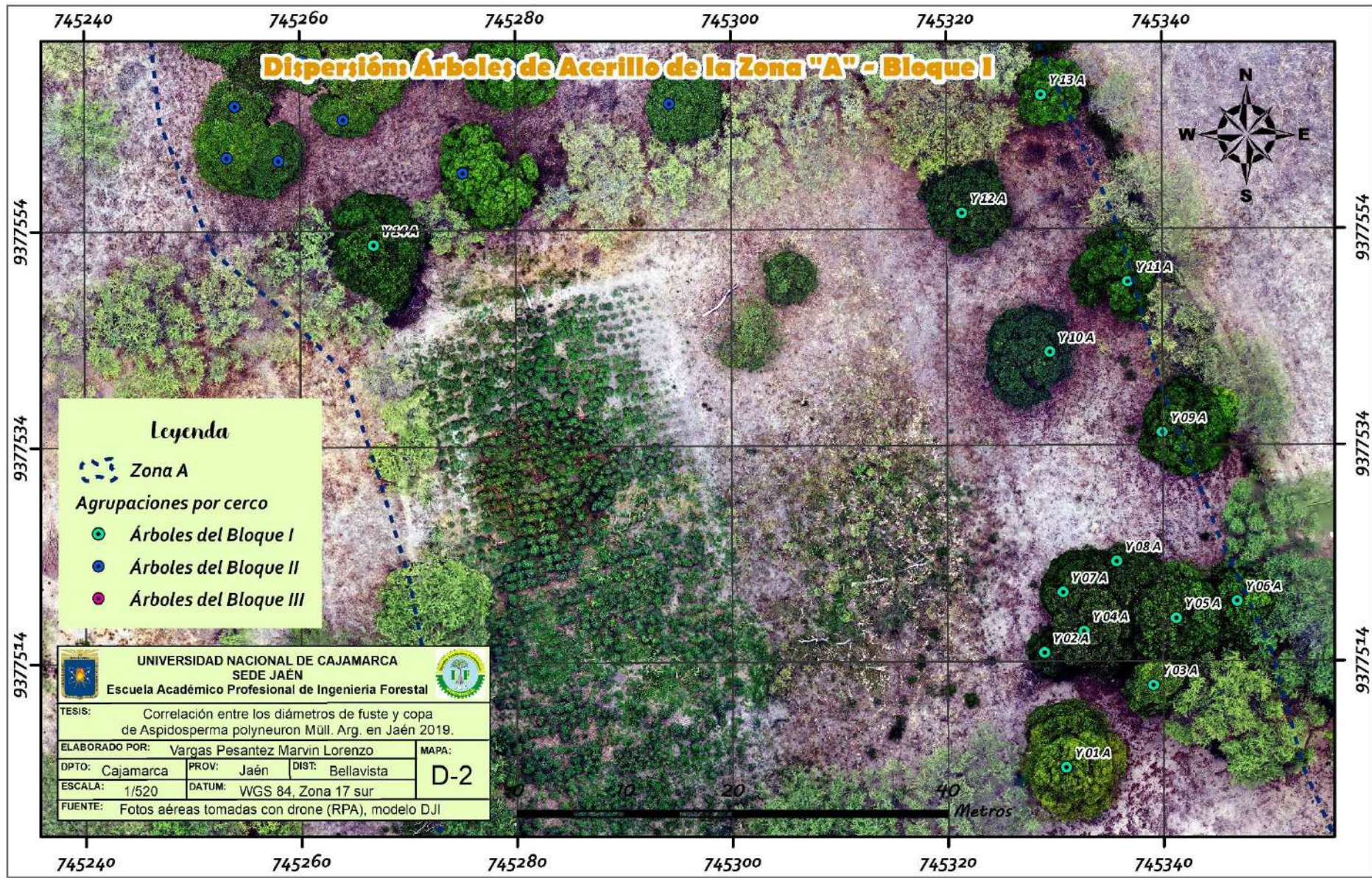


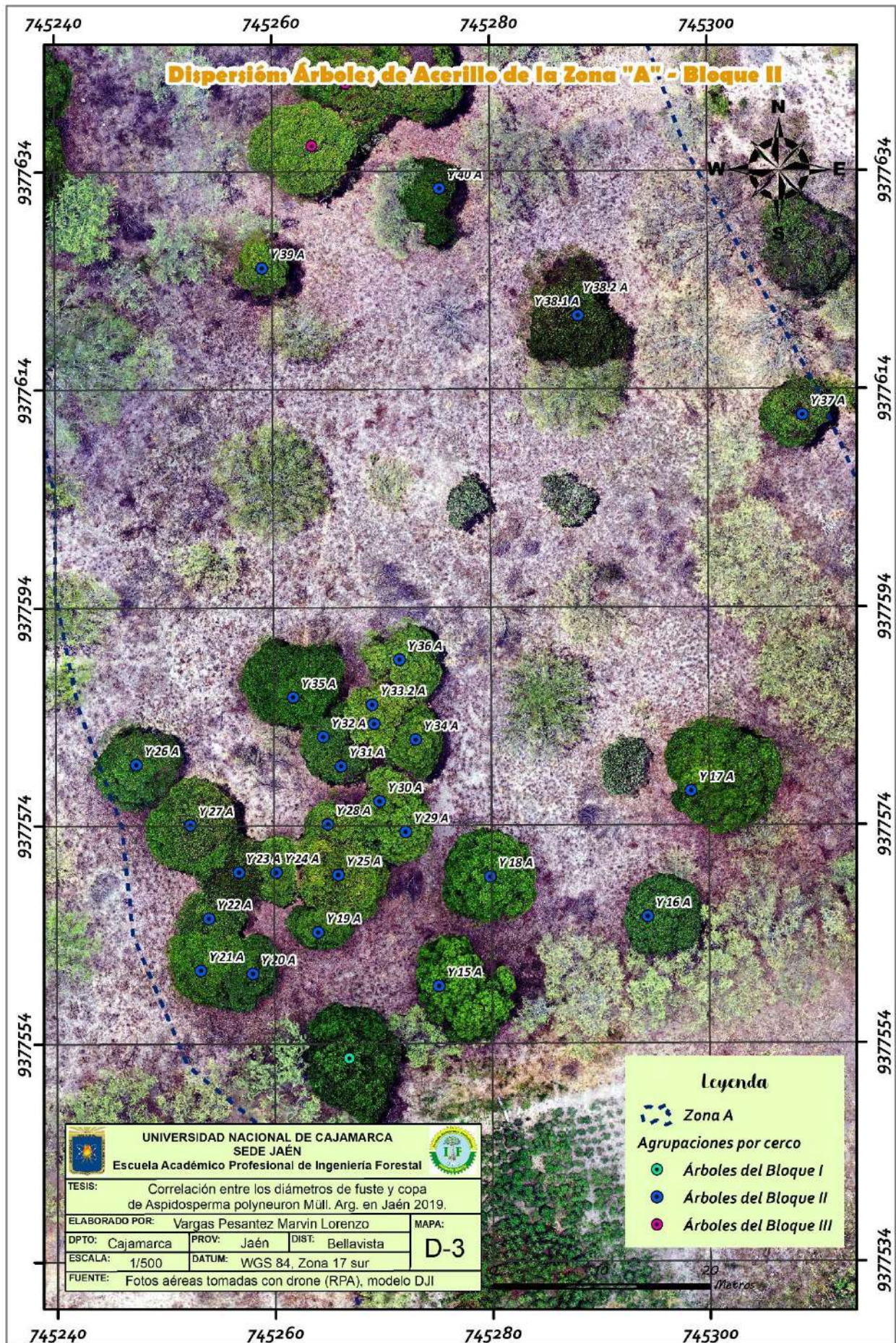


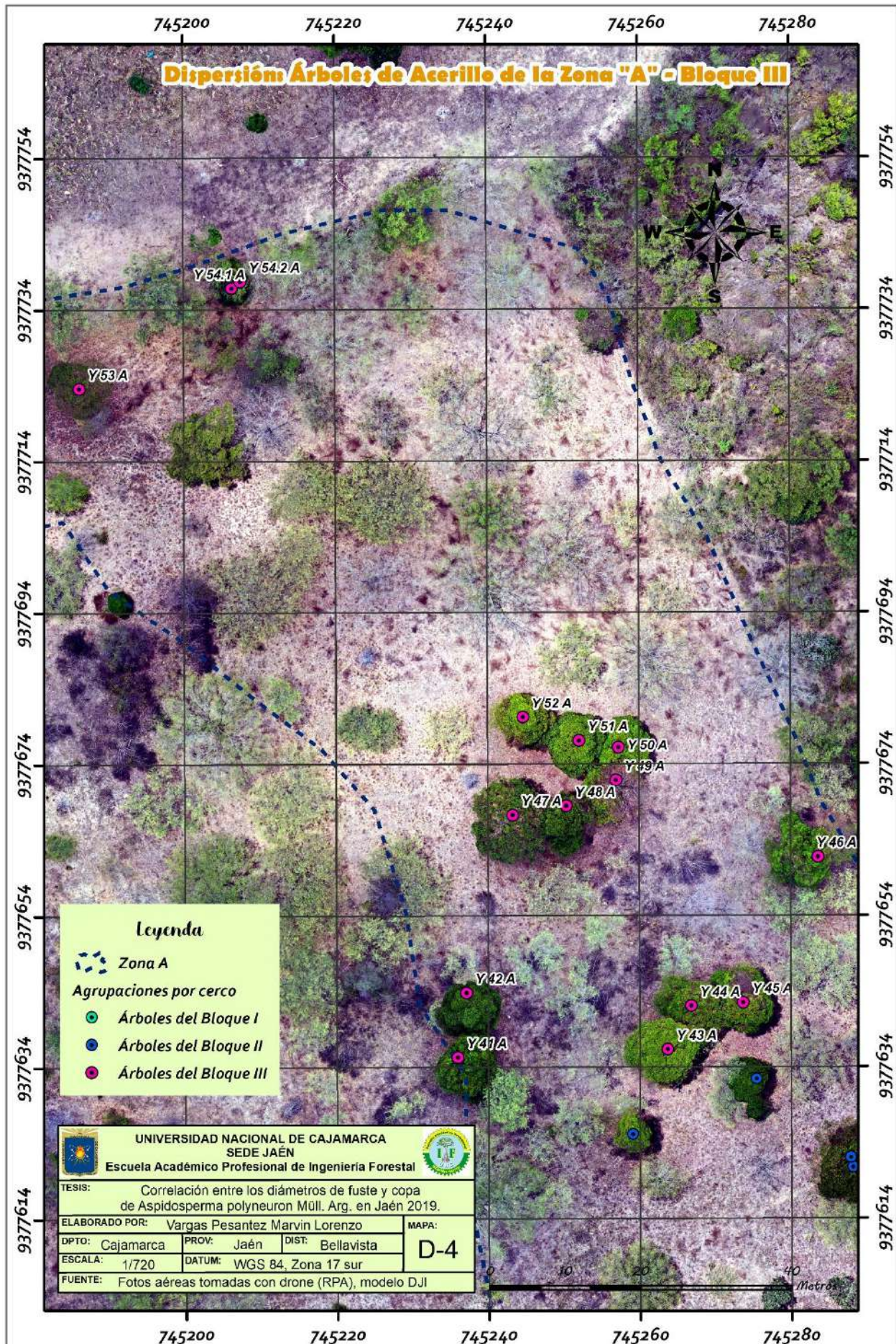
Anexo 12. Mapas de dispersión



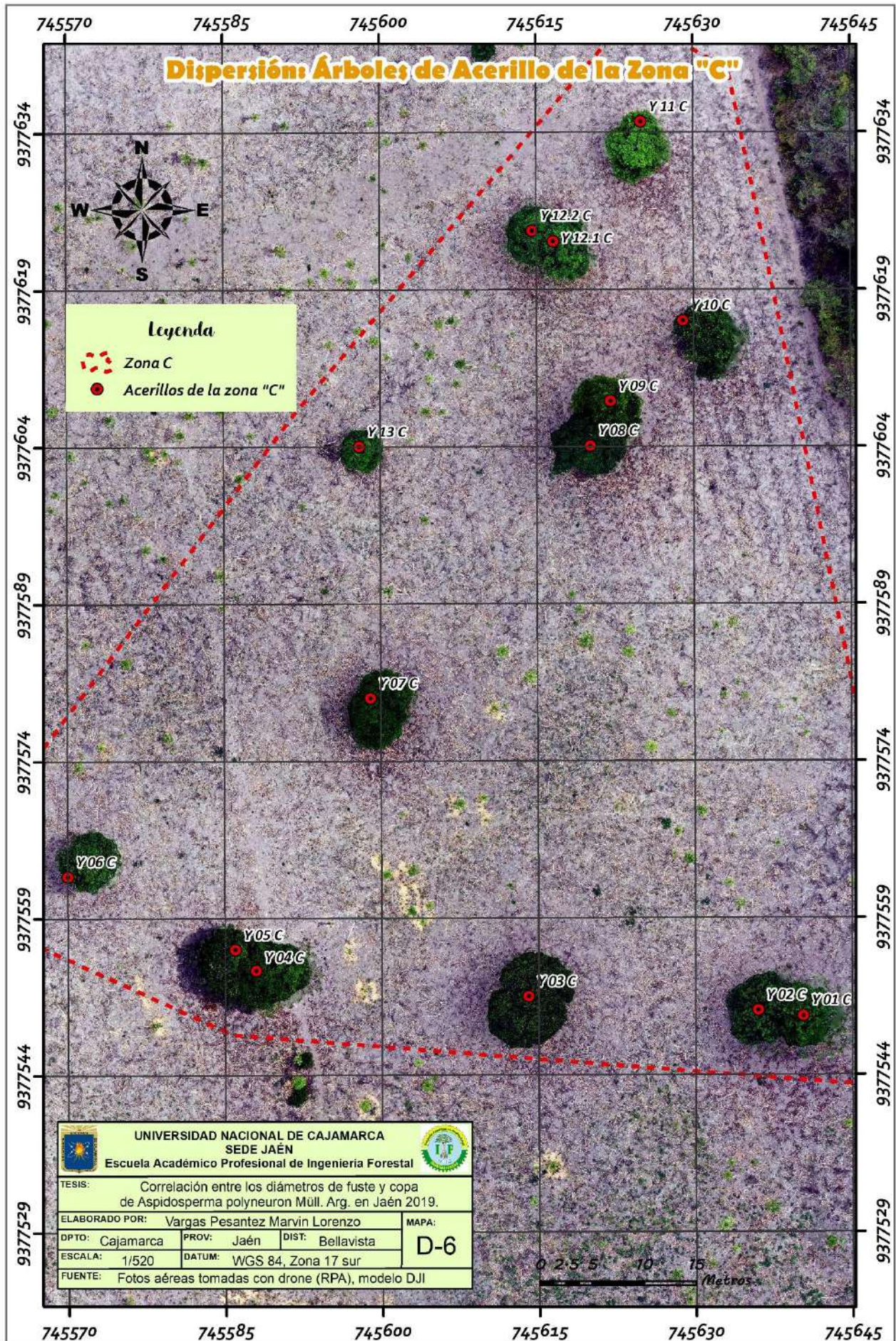
La zona A se encuentra seccionada por cercos, por lo que los individuos hallados se han agrupado en tres bloques: Bloque I, que comprende los árboles “Y 01 A” a “Y 14 A”; Bloque II, que agrupa los árboles “Y 15 A” a “Y 40 A”; y “Bloque III”, árboles “Y 41 A” a “Y 54 A”. La georreferenciación de cada individuo es referencial, debido al error arrojado por el GPS (entre 3 a 5 m).

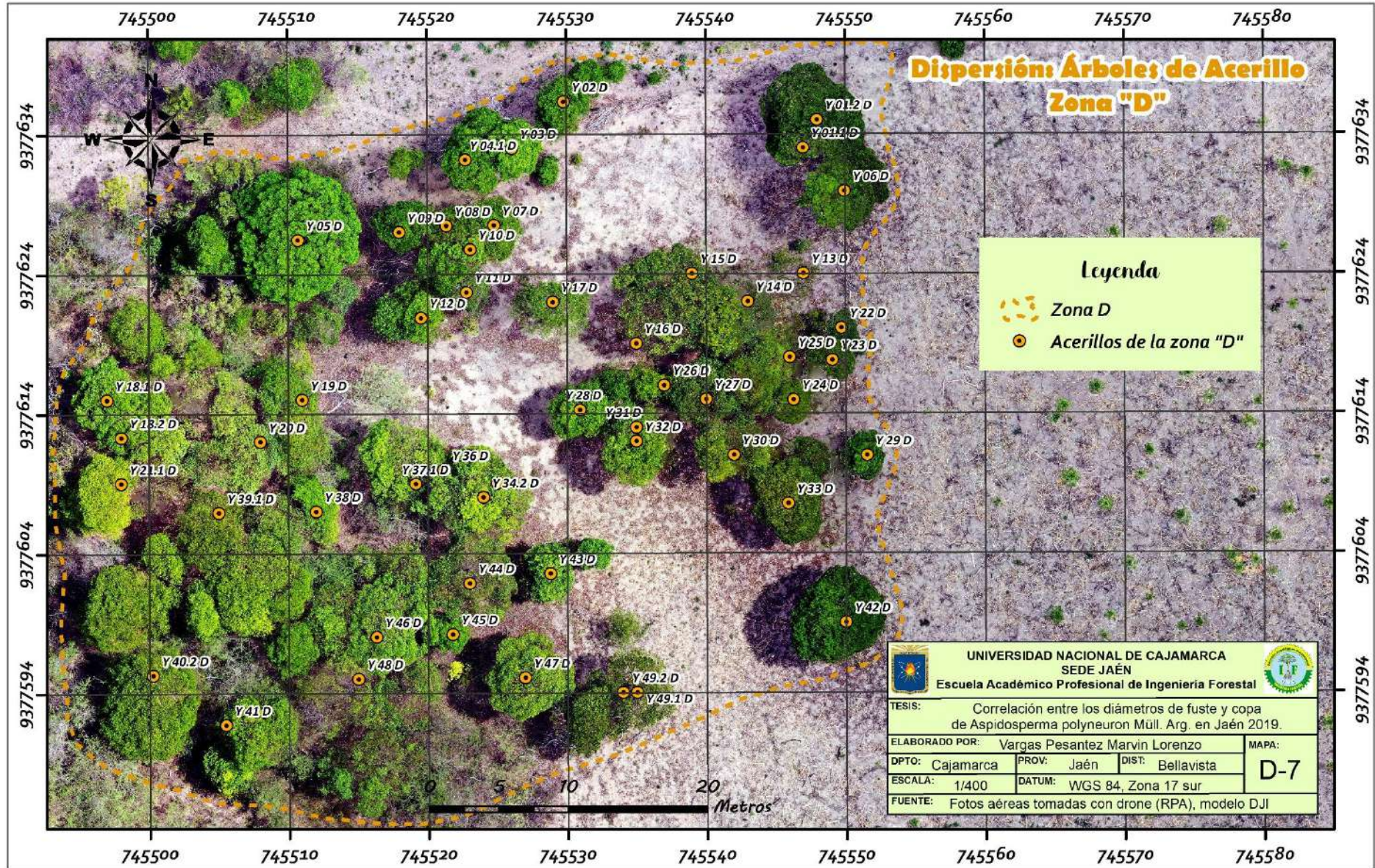


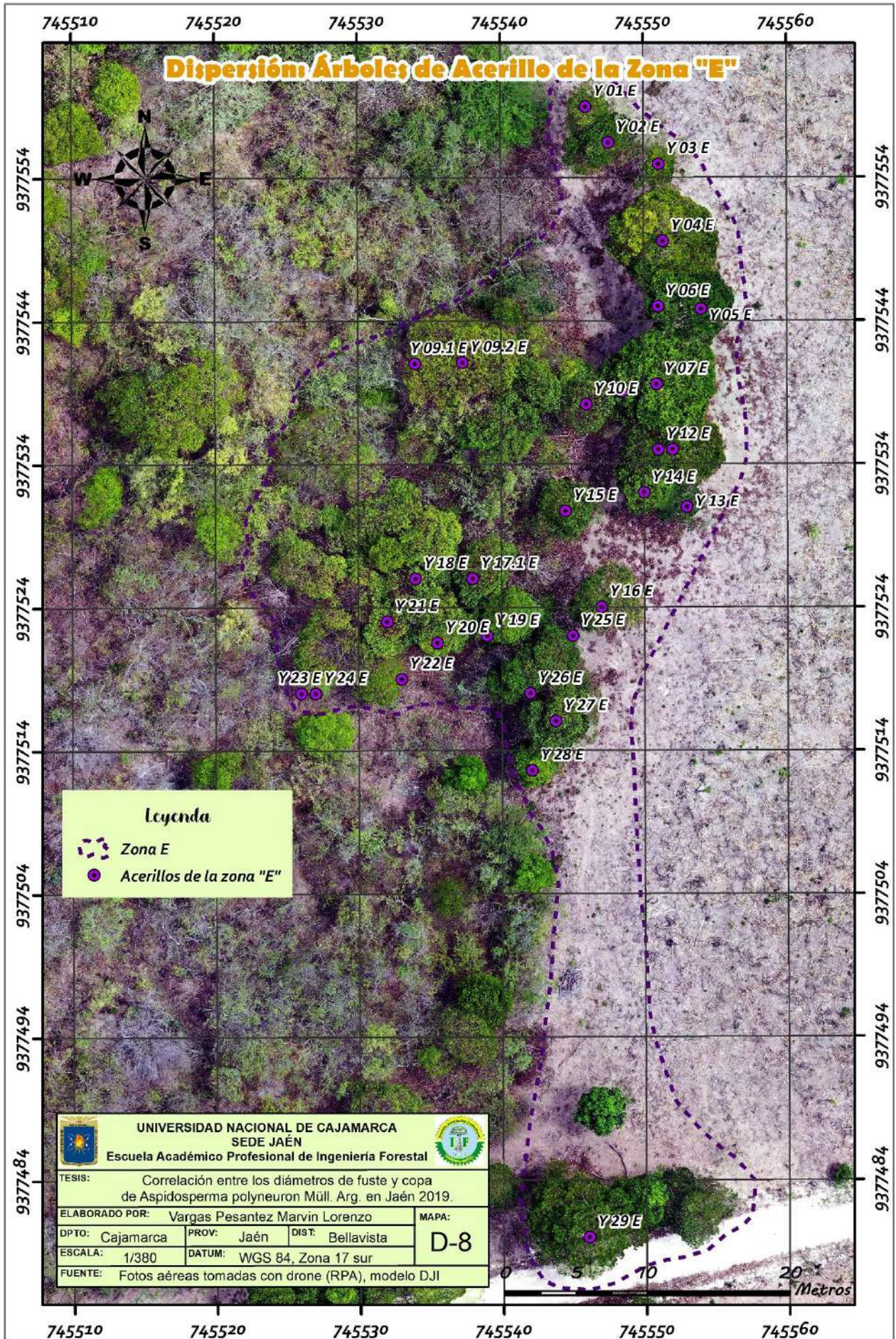




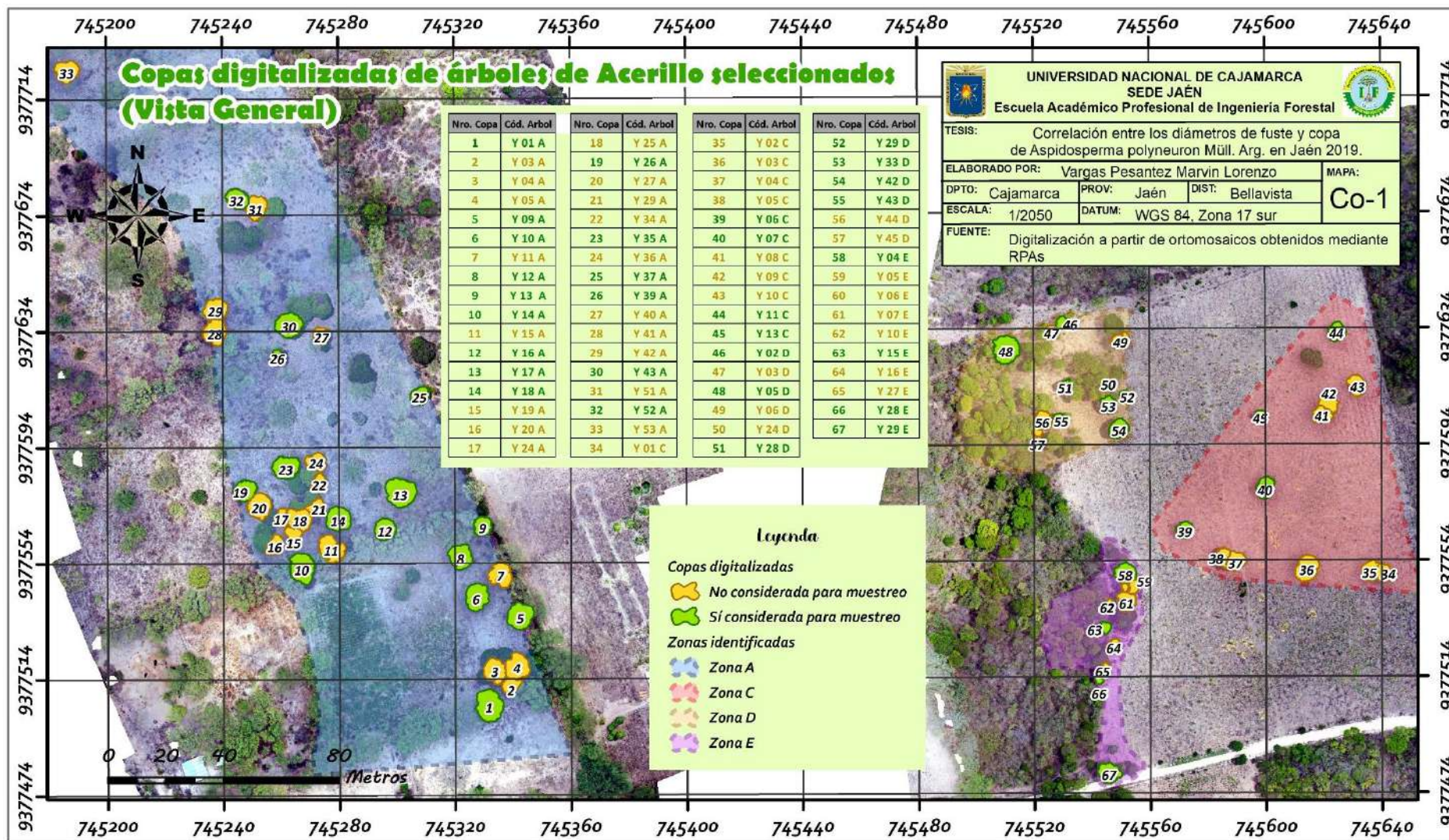


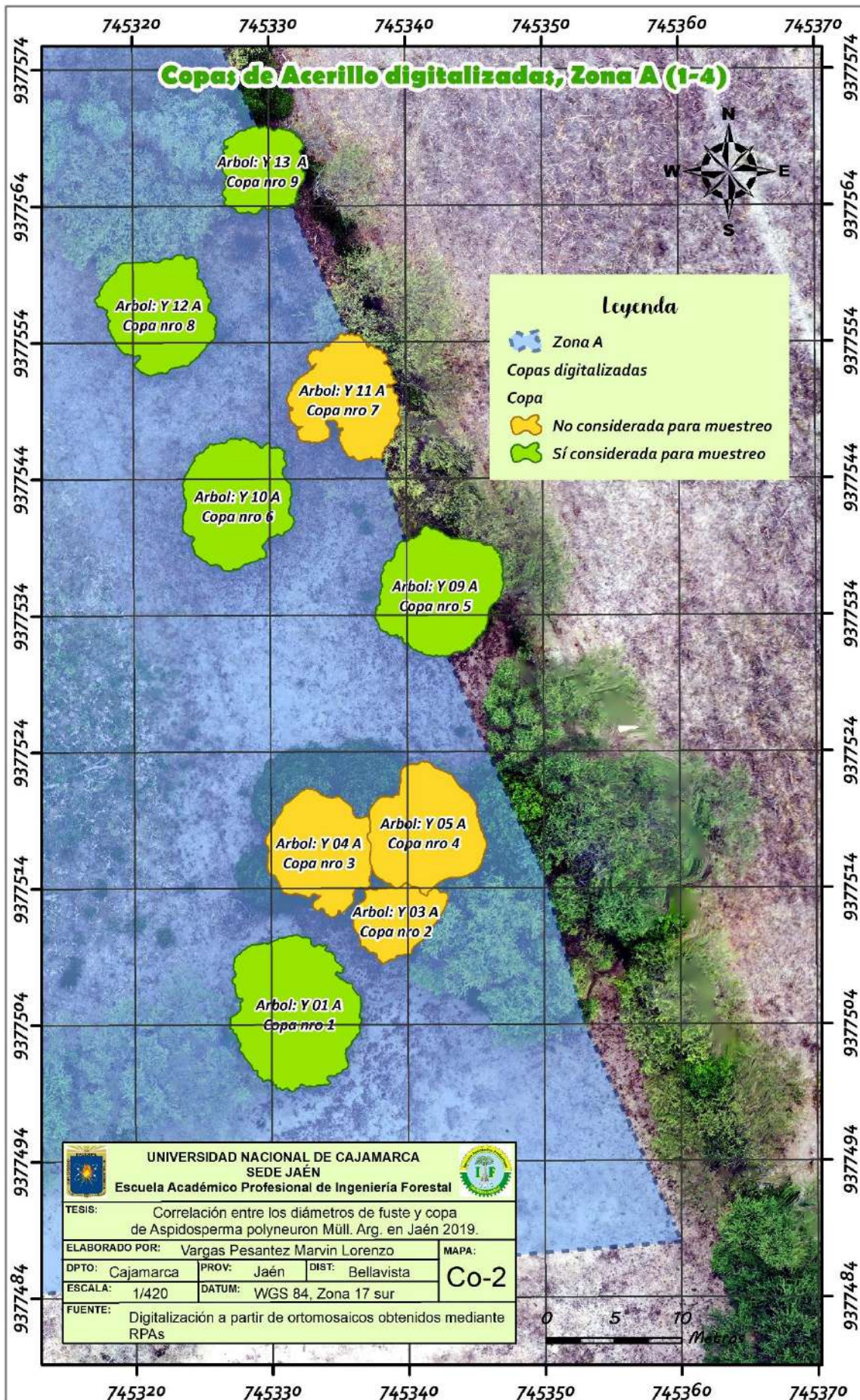


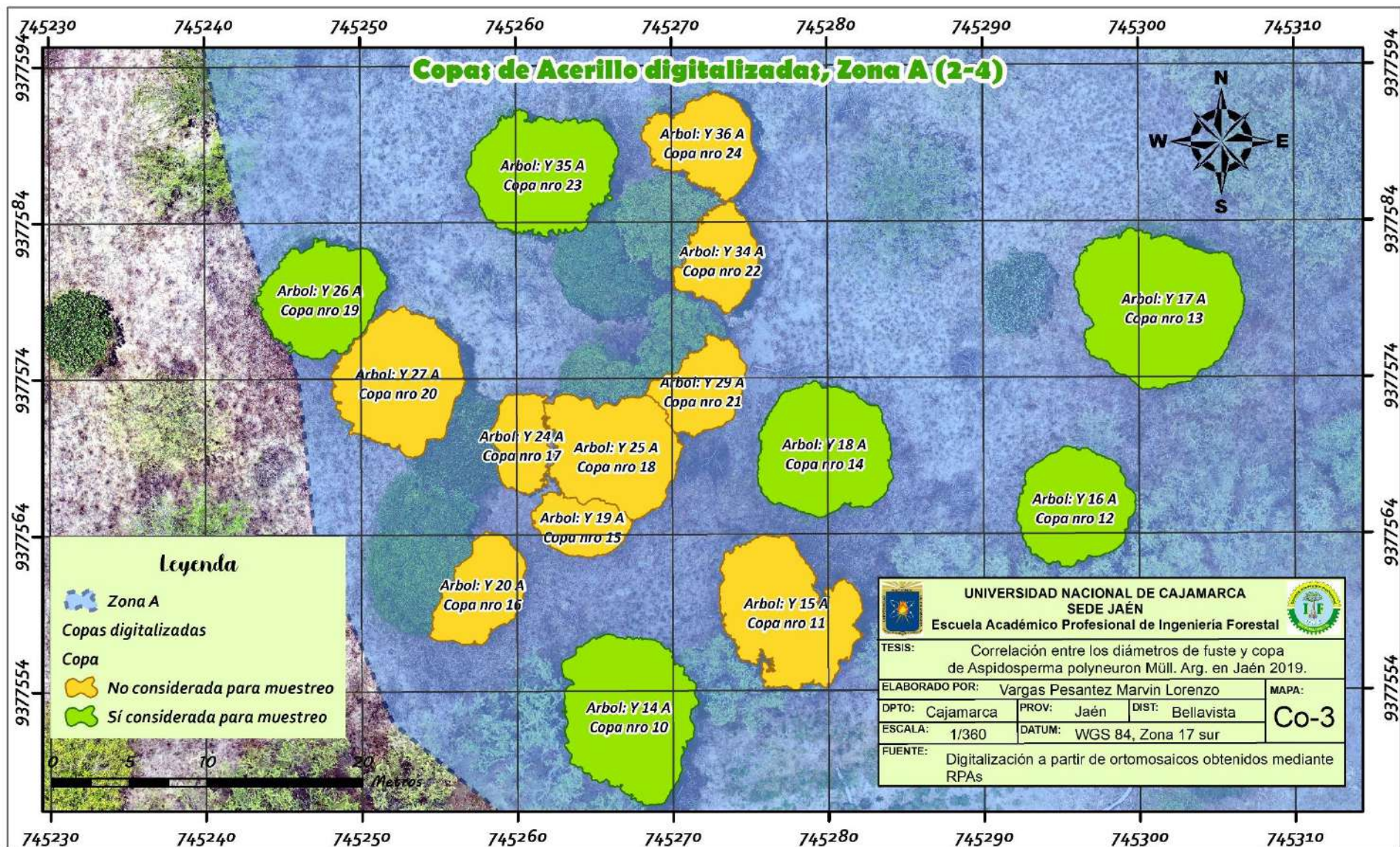


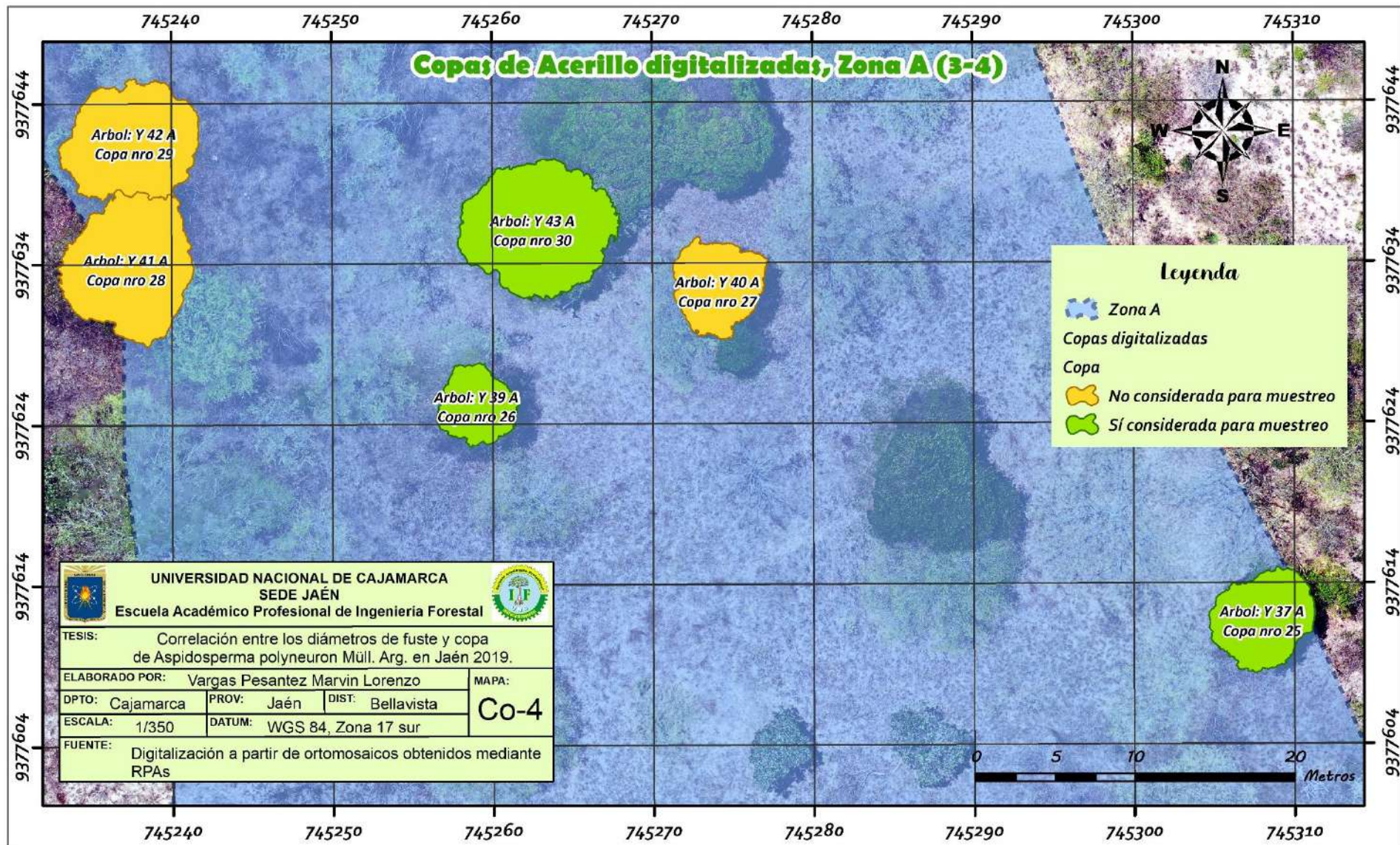


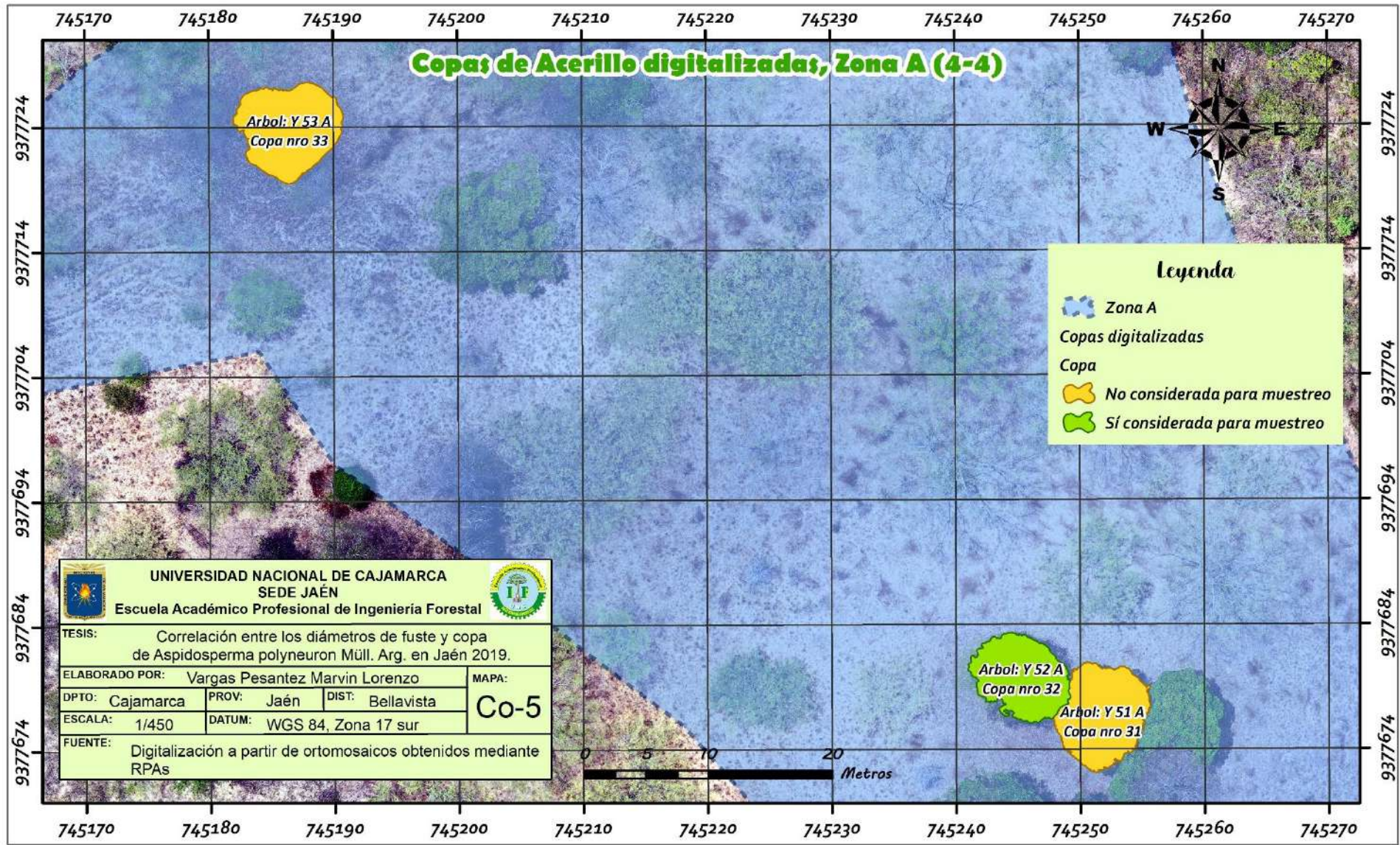
Anexo 13. Copas digitalizadas de árboles de acerillo (*Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg.)

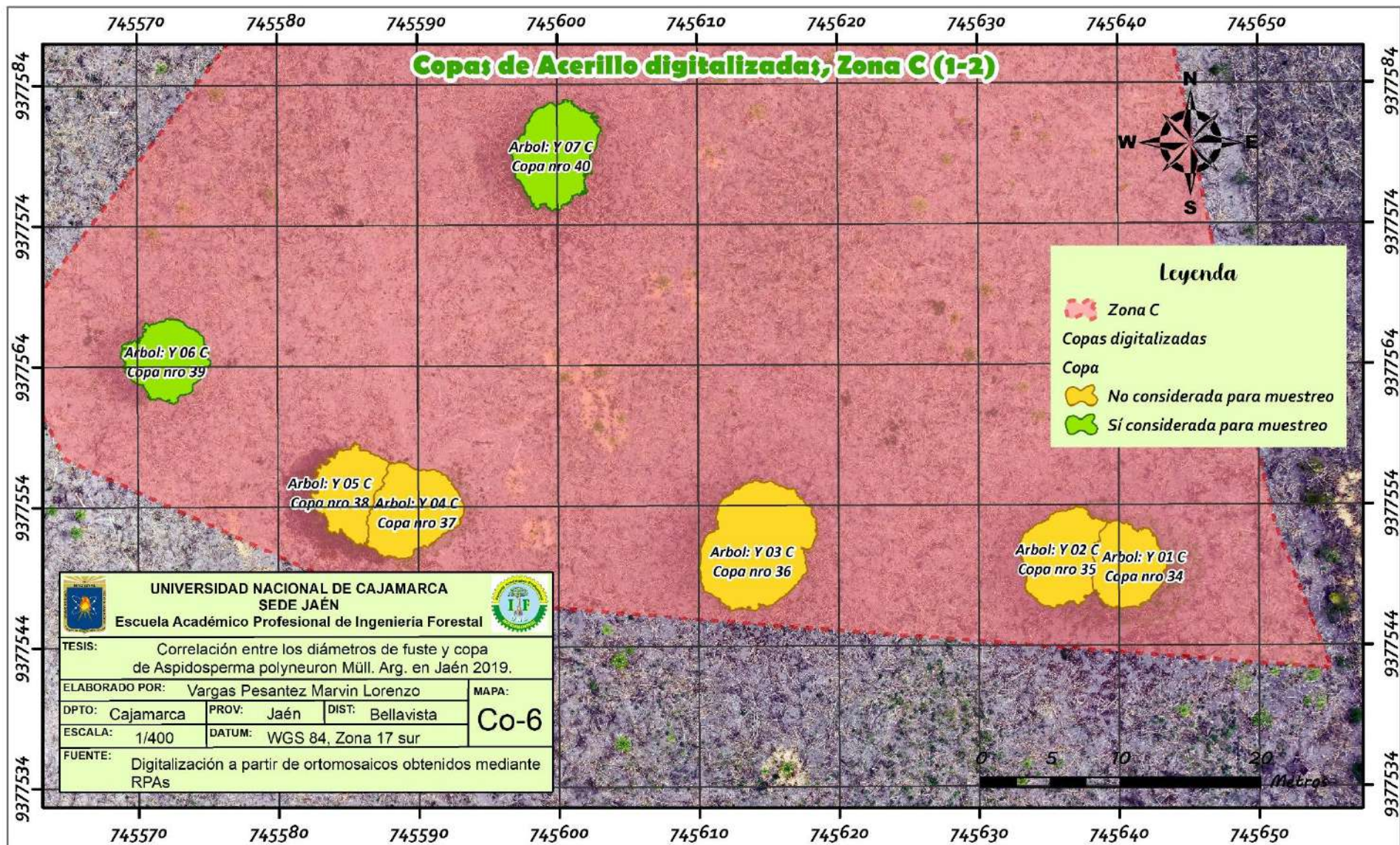


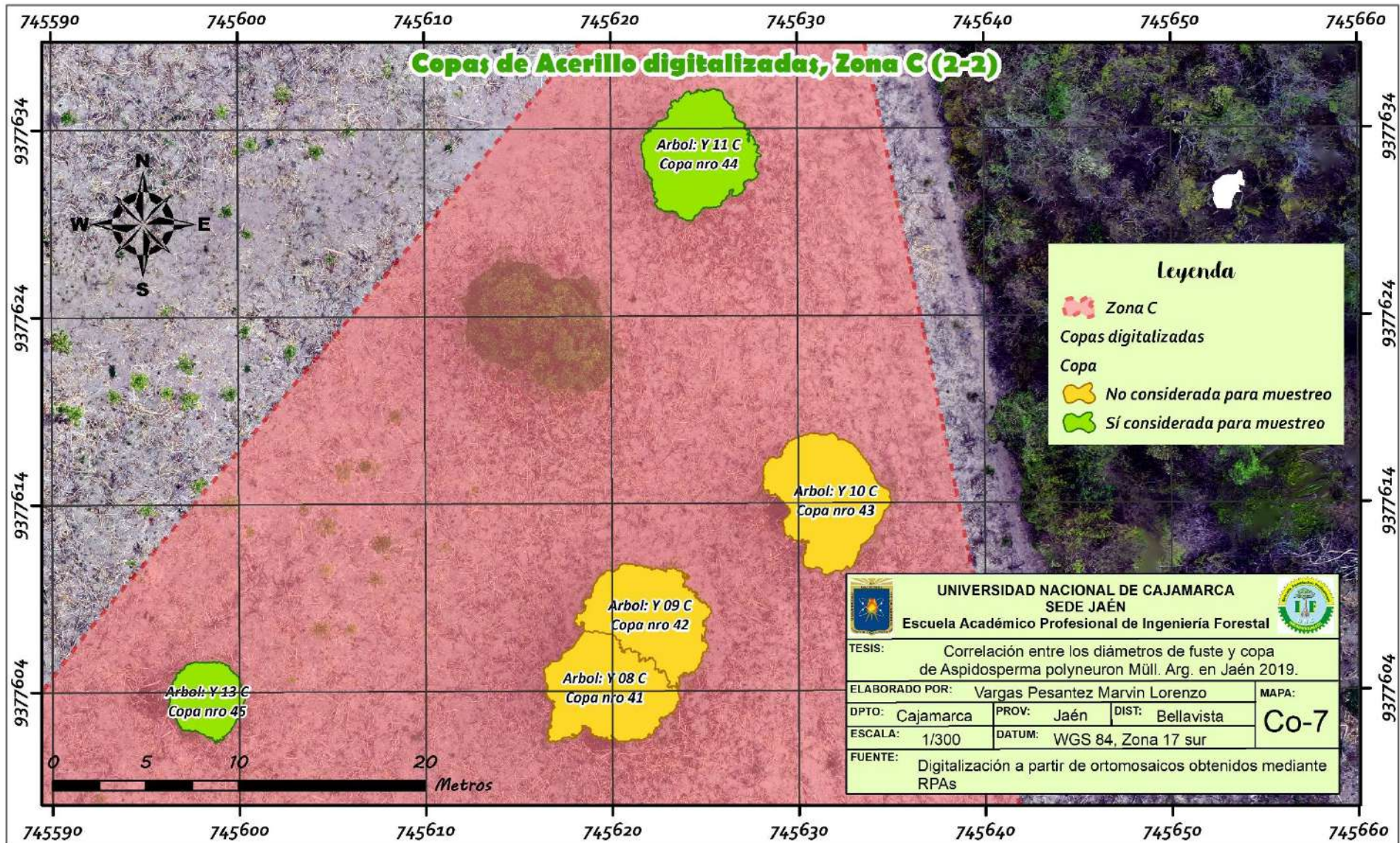


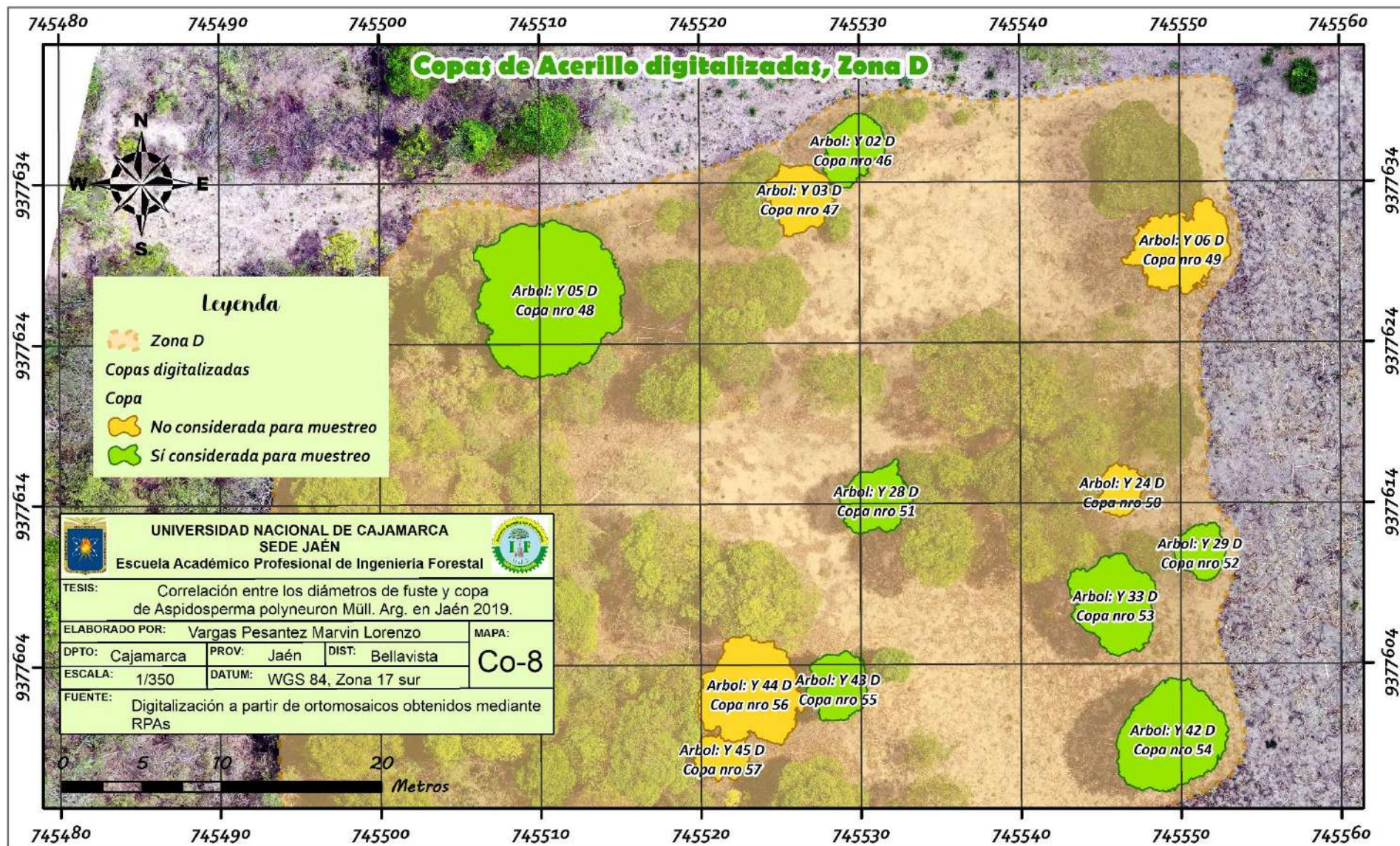


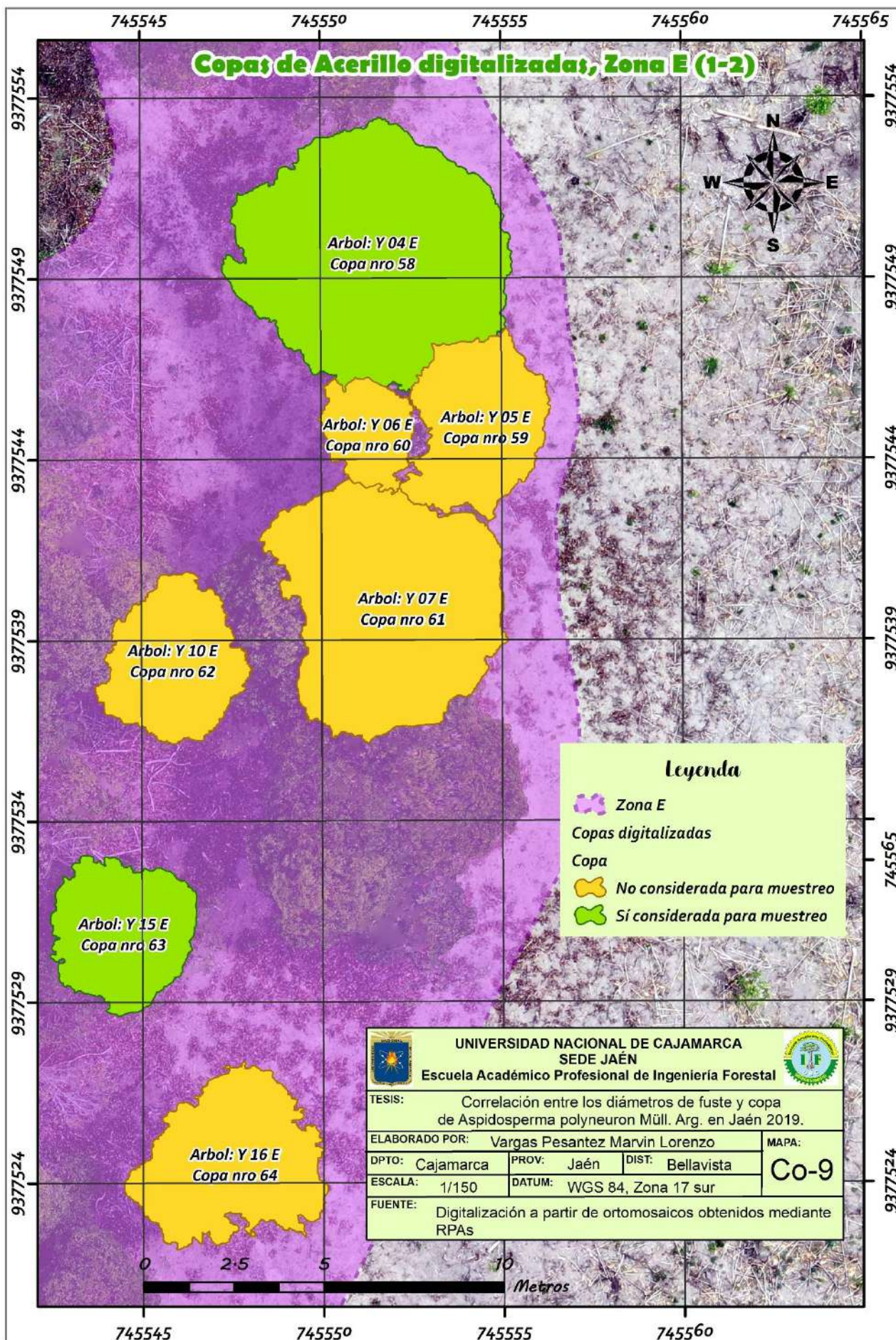


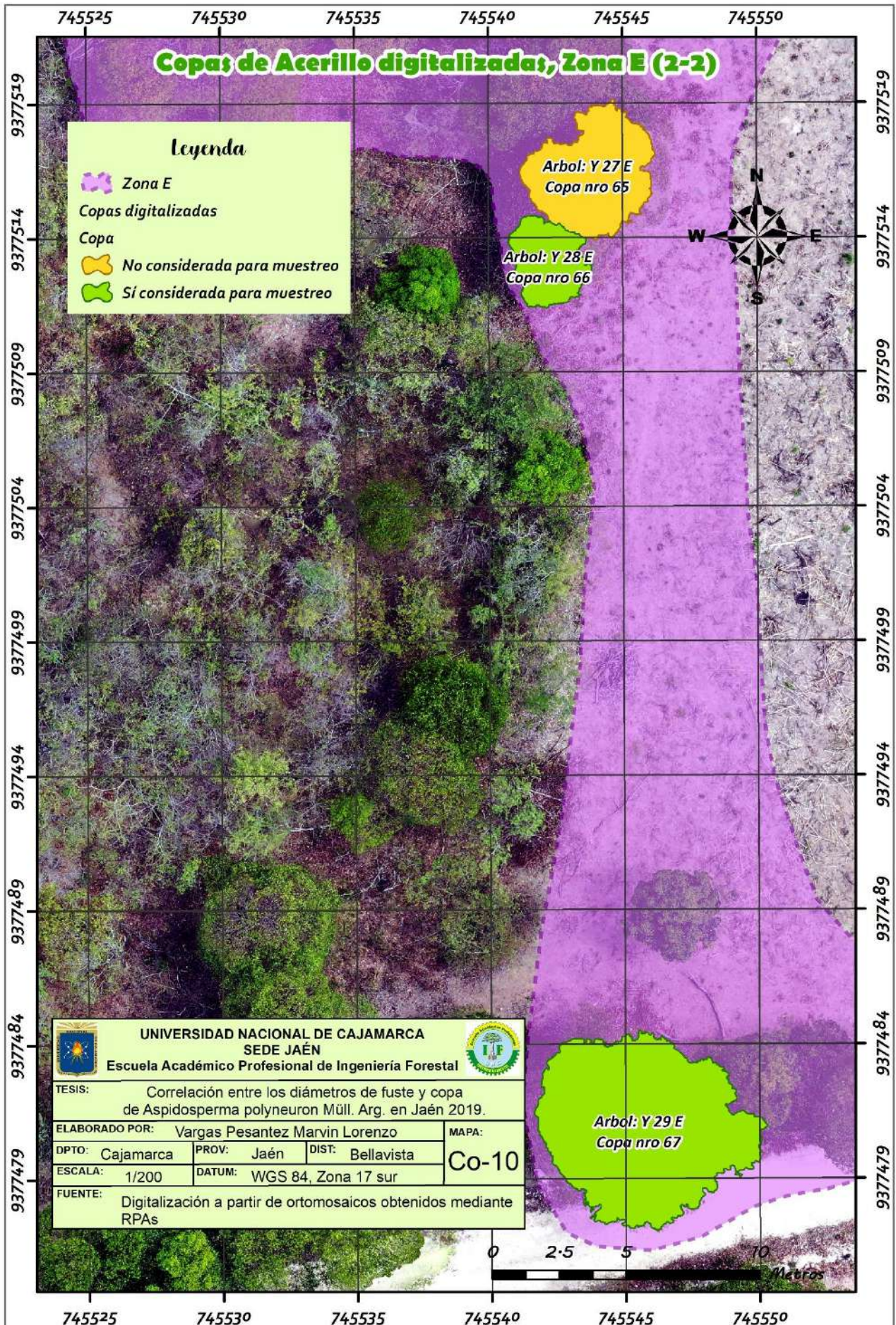




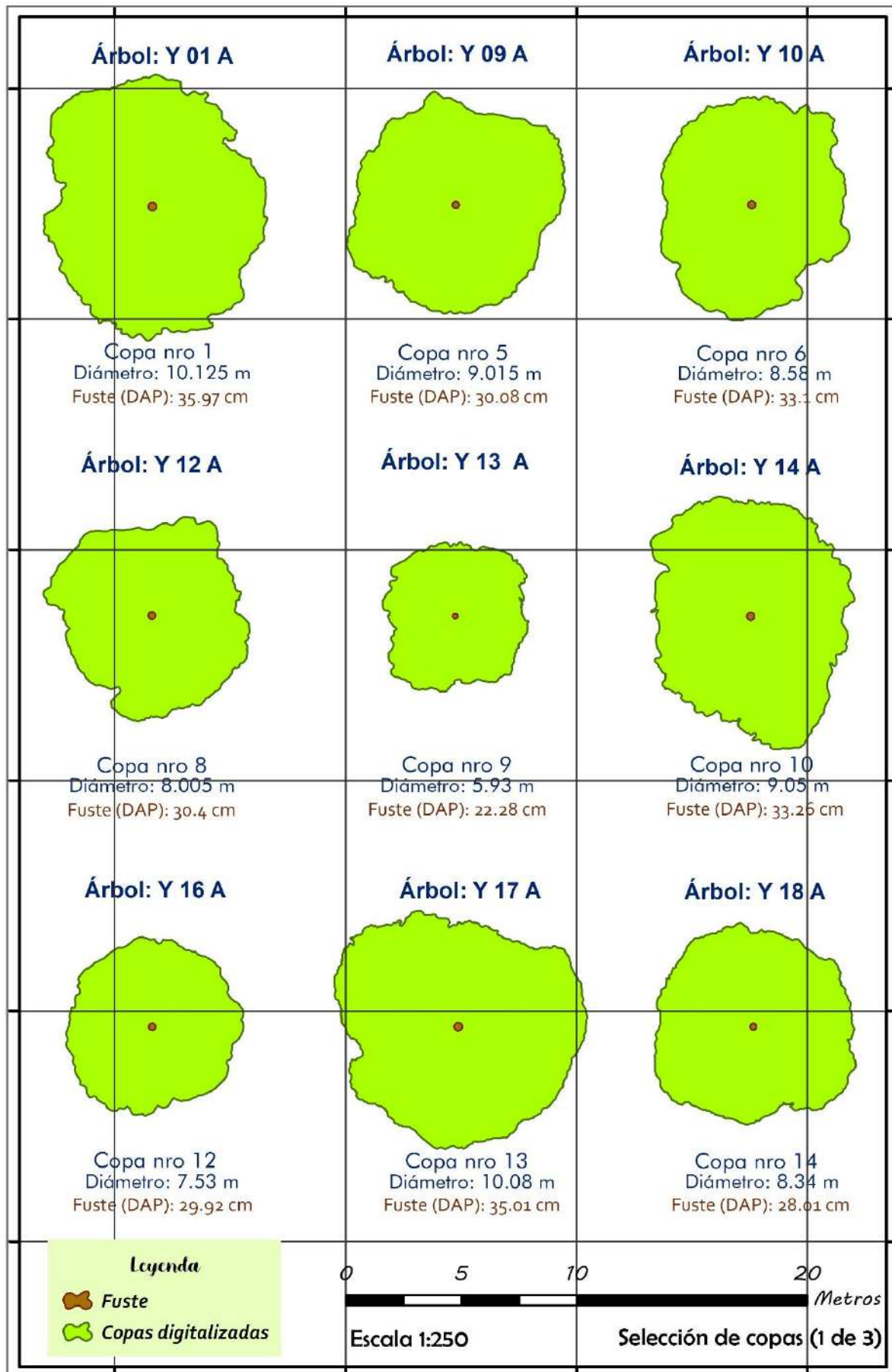


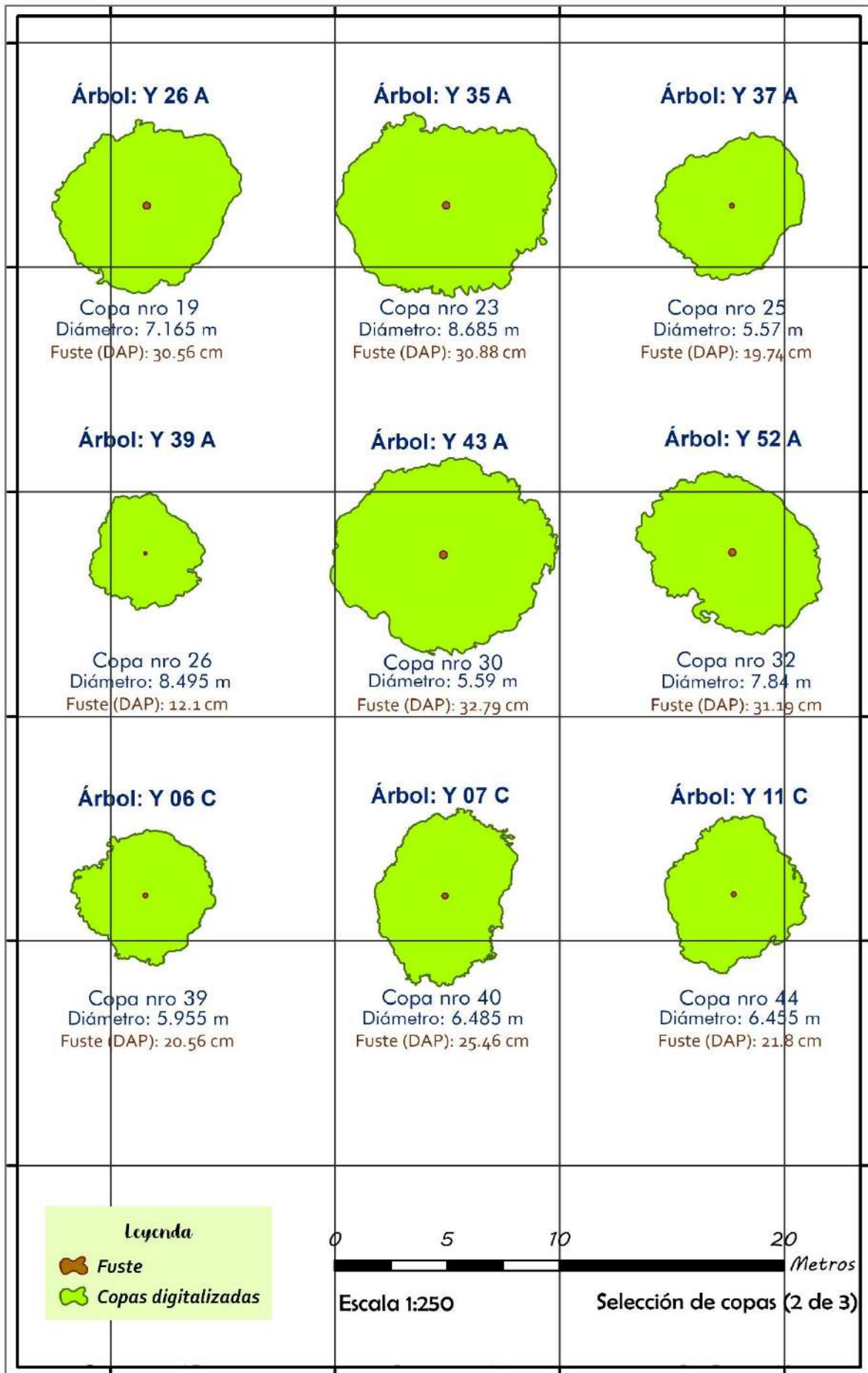


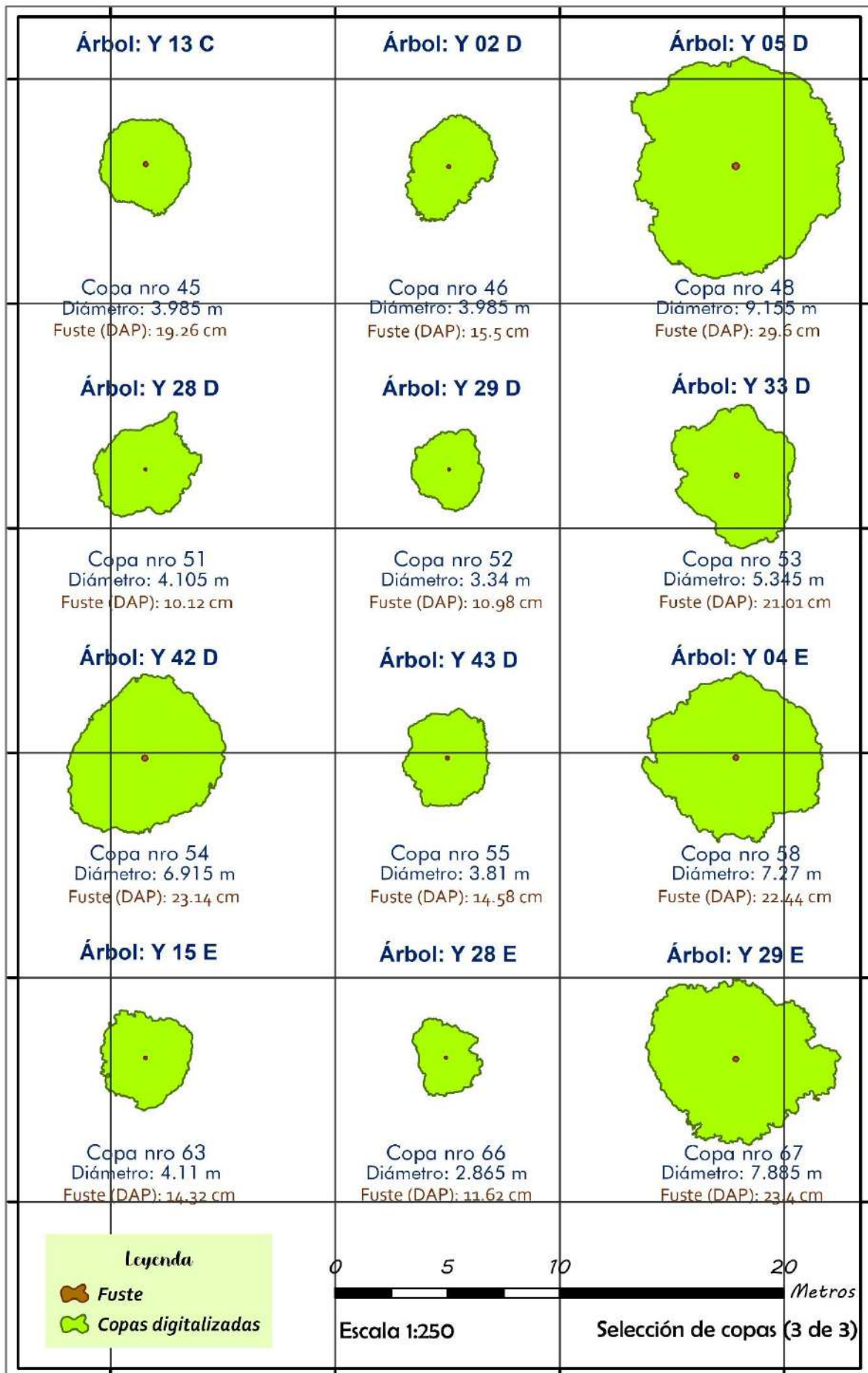




Anexo 14. Árboles seleccionados para la correlación de variables (DC-DAP)







Anexo 15. Tabla de registro de árboles de acerillo según áreas identificadas, ubicación y DAP \geq 10 cm a partir del CAP

- ▶ Las coordenadas registradas son referenciales debido al error de GPS (3 a 5 metros), menos preciso del que registra un RPA (drone). La ubicación de los árboles hubo que contrastarlas mediante fotografías tomadas en plano vertical desde el terreno.
- ▶ Haciendo un total de 187 árboles y 218 codificaciones, algunos valores consignados (respecto al DAP) son menores a los 10 cm. Se trata de árboles bifurcados o trifurcados con al menos un fuste de DAP \geq 10 cm (como lo propuesto en la metodología) que se visualizan en la segunda columna en **color rojo**; únicamente aquellos que no presentaron esta particularidad se encuentran visibles en **color verde**.
- ▶ Además de codificados, como se observa en la primera columna, los árboles están diferenciados por colores, según la zona en la que fueron identificados: zona A (■), zona B (■), zona C (■), zona D (■) y zona E (■).

Nro. Árbol	Cód. Árbol	ESTE	NORTE	CAP (cm)	DAP (cm)	NOTAS	LUGAR	OBSERVACION
1	Y 01 A	745328	9377503	113.00	35.97	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
2	Y 02 A	745327	9377512	55.70	17.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
3	Y 03 A	745336	9377512	75.00	23.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
4	Y 04 A	745331	9377519	98.50	31.35	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
5	Y 05 A	745338	9377517	100.00	31.83	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
6	Y 06 A	745347	9377520	96.00	30.56	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
7	Y 07 A	745331	9377520	73.00	23.24	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
8	Y 08 A	745336	9377523	60.00	19.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
9	Y 09 A	745340	9377535	94.50	30.08	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
10	Y 10 A	745330	9377543	104.00	33.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
11	Y 11 A	745337	9377549	99.50	31.67	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
12	Y 12 A	745321	9377555	95.50	30.40	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
13	Y 13 A	745329	9377566	70.00	22.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
14	Y 14 A	745263	9377557	104.50	33.26	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque I
15	Y 15 A	745275	9377559	90.00	28.65	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
16	Y 16 A	745294	9377566	94.00	29.92	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
17	Y 17 A	745298	9377577	110.00	35.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
18	Y 18 A	745281	9377575	88.00	28.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
19	Y 19 A	745266	9377568	58.40	18.59	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II

20	Y 20 A	745255	9377565	65.00	20.69	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
21	Y 21 A	745253	9377567	78.70	25.05	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
22	Y 22 A	745252	9377568	58.30	18.56	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
23	Y 23 A	745253	9377571	62.70	19.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
24	Y 24 A	745257	9377573	59.30	18.88	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
25	Y 25 A	745265	9377575	76.80	24.45	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
26	Y 26 A	745245	9377583	96.00	30.56	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
27	Y 27 A	745247	9377574	85.70	27.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
28	Y 28 A	745265	9377577	55.30	17.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
29	Y 29 A	745268	9377574	61.00	19.42	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
30	Y 30 A	745269	9377578	56.00	17.83	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
31	Y 31 A	745265	9377575	47.00	14.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
32	Y 32 A	745265	9377583	55.00	17.51	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
33	Y 33.1 A	745269	9377583	53.20	16.93	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
	Y 33.2 A	745270	9377588	48.50	15.44	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
34	Y 34 A	745271	9377579	70.00	22.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
35	Y 35 A	745262	9377586	97.00	30.88	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
36	Y 36 A	745269	9377586	74.00	23.55	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
37	Y 37 A	745309	9377612	62.00	19.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
38	Y 38.1 A	745288	9377621	84.00	26.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
	Y 38.2 A	745289	9377622	85.50	27.22	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
39	Y 39 A	745260	9377629	38.00	12.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
40	Y 40 A	745275	9377632	79.50	25.31	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque II
41	Y 41 A	745236	9377635	85.70	27.28	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
42	Y 42 A	745237	9377644	78.50	24.99	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
43	Y 43 A	745264	9377636	103.00	32.79	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
44	Y 44 A	745267	9377642	81.50	25.94	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
45	Y 45 A	745274	9377642	91.00	28.97	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
46	Y 46 A	745284	9377662	111.00	35.33	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
47	Y 47 A	745243	9377667	109.00	34.70	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
48	Y 48 A	745250	9377668	99.50	31.67	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
49	Y 49 A	745257	9377672	83.50	26.58	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
50	Y 50 A	745257	9377676	79.00	25.15	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
51	Y 51 A	745253	9377681	92.00	29.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III

52	Y 52 A	745248	9377681	98.00	31.19	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
53	Y 53 A	745188	9377729	89.50	28.49	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
54	Y 54.1 A	745207	9377743	43.50	13.85	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
	Y 54.2 A	745210	9377743	37.00	11.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona A - Bloque III
55	Y 01 B	745508	9377372	69.00	21.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
56	Y 02.1 B	745524	9377370	53.50	17.03	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 02.2 B	-----	-----	64.50	20.53	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
57	Y 03 B	745506	9377373	98.00	31.19	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
58	Y 04 B	745510	9377376	74.00	23.55	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona B
59	Y 05.1 B	745510	9377378	41.00	13.05	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 05.2 B	-----	-----	41.00	13.05	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
60	Y 06 B	745511	9377379	37.50	11.94	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
61	Y 07.1 B	745523	9377376	50.50	16.07	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 07.2 B	-----	-----	47.50	15.12	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 07.3 B	-----	-----	38.00	12.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
62	Y 08 B	745510	9377383	40.00	12.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
63	Y 09 B	745507	9377390	65.00	20.69	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
64	Y 10 B	745517	9377386	38.70	12.32	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
65	Y 11.1 B	745526	9377384	42.00	13.37	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 11.2 B	-----	-----	29.00	9.23	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
66	Y 12 B	745506	9377394	42.00	13.37	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
67	Y 13 B	745509	9377394	33.70	10.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
68	Y 14 B	745515	9377387	32.00	10.19	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
69	Y 15.1 B	745520	9377385	32.50	10.35	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 15.2 B	-----	-----	29.00	9.23	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
70	Y 16 B	745511	9377393	33.00	10.50	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
71	Y 17 B	745516	9377392	72.00	22.92	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
72	Y 18 B	745531	9377386	36.00	11.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
73	Y 19 B	745526	9377387	39.50	12.57	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
74	Y 20 B	745511	9377396	39.00	12.41	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
75	Y 21 B	745519	9377391	55.00	17.51	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
76	Y 22 B	745520	9377390	49.00	15.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
77	Y 23 B	745523	9377389	34.00	10.82	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B

78	Y 24 B	745524	9377388	43.30	13.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
79	Y 25 B	745526	9377390	38.20	12.16	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
80	Y 26.1 B	745529	9377388	39.50	12.57	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 26.2 B	-----	-----	35.30	11.24	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 26.3 B	-----	-----	24.20	7.70	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
81	Y 27 B	745514	9377396	62.00	19.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
82	Y 28 B	745517	9377397	53.00	16.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
83	Y 29.1 B	745517	9377394	37.70	12.00	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 29.2 B	-----	-----	45.50	14.48	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
84	Y 30.1 B	745523	9377393	33.00	10.50	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 30.2 B	-----	-----	20.80	6.62	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
85	Y 31 B	745524	9377393	48.00	15.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
86	Y 32.1 B	745526	9377393	48.00	15.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 32.2 B	-----	-----	16.70	5.32	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
87	Y 33 B	745516	9377400	62.00	19.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
88	Y 34 B	745524	9377395	34.80	11.08	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
89	Y 35 B	745514	9377402	53.00	16.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
90	Y 36 B	745522	9377402	40.00	12.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
91	Y 37.1 B	745520	9377405	62.00	19.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 37.2 B	745520	9377408	65.00	20.69	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
92	Y 38 B	745526	9377401	35.30	11.24	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
93	Y 39.1 B	745526	9377404	37.00	11.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 39.2 B	-----	-----	25.00	7.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
94	Y 40 B	745527	9377404	32.60	10.38	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
95	Y 41 B	745522	9377413	38.90	12.38	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona B
96	Y 42.1 B	745524	9377417	51.60	16.42	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
	Y 42.2 B	745525	9377416	38.10	12.13	-----	Bosque Yanahuanca	Zona B
97	Y 01 C	745644	9377549	68.30	21.74	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
98	Y 02 C	745641	9377550	72.70	23.14	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
99	Y 03 C	745614	9377553	94.30	30.02	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona C
100	Y 04 C	745588	9377554	72.30	23.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
101	Y 05 C	745586	9377556	67.00	21.33	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona C
102	Y 06 C	745570	9377563	64.60	20.56	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C

103	Y 07 C	745599	9377580	80.00	25.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
104	Y 08 C	745621	9377603	81.70	26.01	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona C
105	Y 09 C	745624	9377609	58.00	18.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
106	Y 10 C	745629	9377616	80.00	25.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
107	Y 11 C	745625	9377635	68.50	21.80	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
108	Y 12.1 C	745617	9377625	60.00	19.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
	Y 12.2 C	745615	9377626	55.50	17.67	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
109	Y 13 C	745598	9377604	60.50	19.26	-----	Bosque Yanahuanca	Zona C
110	Y 01.1 D	745547	9377633	50.70	16.14	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 01.2 D	745548	9377635	55.50	17.67	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
111	Y 02 D	745528	9377637	48.70	15.50	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
112	Y 03 D	745525	9377634	48.00	15.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
113	Y 04.1 D	745520	9377634	53.00	16.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 04.2 D	-----	-----	31.00	9.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
114	Y 05 D	745511	9377631	93.00	29.60	Bajo 15 cm	Bosque Yanahuanca	Zona D
115	Y 06 D	745549	9377627	71.00	22.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
116	Y 07 D	745524	9377626	47.00	14.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
117	Y 08 D	745521	9377626	47.20	15.02	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
118	Y 09 D	745518	9377627	44.00	14.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
119	Y 10 D	745521	9377627	41.50	13.21	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
120	Y 11 D	745523	9377625	44.00	14.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
121	Y 12 D	745517	9377620	39.50	12.57	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
122	Y 13 D	745547	9377624	53.50	17.03	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
123	Y 14 D	745543	9377622	50.00	15.92	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
124	Y 15 D	745539	9377624	61.00	19.42	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
125	Y 16 D	745535	9377619	70.80	22.54	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
126	Y 17 D	745528	9377623	48.50	15.44	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
127	Y 18.1 D	745497	9377615	58.00	18.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 18.2 D	745499	9377611	47.00	14.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
128	Y 19 D	745511	9377615	49.40	15.72	Bajo 5 cm	Bosque Yanahuanca	Zona D
129	Y 20 D	745508	9377612	65.40	20.82	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
130	Y 21.1 D	745498	9377609	58.00	18.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 21.2 D	-----	-----	40.00	12.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D

131	Y 22 D	745551	9377623	33.30	10.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
132	Y 23 D	745549	9377620	43.30	13.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
133	Y 24 D	745547	9377616	34.30	10.92	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
134	Y 25 D	745546	9377618	39.00	12.41		Bosque Yanahuanca	Zona D
135	Y 26 D	745537	9377616	34.00	10.82	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
136	Y 27 D	745540	9377615	42.50	13.53	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
137	Y 28 D	745534	9377614	31.80	10.12	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
138	Y 29 D	745549	9377612	34.50	10.98	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
139	Y 30 D	745542	9377611	42.20	13.43	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
140	Y 31 D	745535	9377613	42.30	13.46	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
141	Y 32 D	745535	9377612	52.00	16.55	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
142	Y 33 D	745544	9377609	66.00	21.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
143	Y 34.1 D	745525	9377609	49.20	15.66	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 34.2 D	745524	9377608	48.00	15.28	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
144	Y 35.1 D	745525	9377613	34.80	11.08	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 35.2 D	-----	-----	31.30	9.96	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
145	Y 36 D	745523	9377612	43.00	13.69	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
146	Y 37.1 D	745521	9377611	47.00	14.96	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 37.2 D	-----	-----	46.00	14.64	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
147	Y 38 D	745512	9377607	37.70	12.00	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
148	Y 39.1 D	745506	9377609	44.50	14.16	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 39.2 D	-----	-----	40.40	12.86	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 39.3 D	-----	-----	37.00	11.78	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona D
149	Y 40.1 D	-----	-----	53.50	17.03	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 40.2 D	745506	9377604	49.00	15.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
150	Y 41 D	745503	9377599	43.50	13.85	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
151	Y 42 D	745550	9377599	72.70	23.14	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
152	Y 43 D	745529	9377601	45.80	14.58	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
153	Y 44 D	745524	9377601	73.00	23.24	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
154	Y 45 D	745519	9377599	66.50	21.17	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
155	Y 46 D	745515	9377599	49.00	15.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
156	Y 47 D	745528	9377597	72.00	22.92	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
157	Y 48 D	745515	9377595	62.50	19.89	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D

158	Y 49.1 D	745535	9377594	55.70	17.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
	Y 49.2 D	745534	9377594	53.00	16.87	-----	Bosque Yanahuanca	Zona D
159	Y 01 E	745546	9377561	49.00	15.60	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
160	Y 02 E	745544	9377559	62.90	20.02	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
161	Y 03 E	745549	9377557	42.70	13.59	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
162	Y 04 E	745551	9377552	70.50	22.44	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
163	Y 05 E	745555	9377547	52.70	16.77	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
164	Y 06 E	745551	9377545	37.80	12.03	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
165	Y 07 E	745552	9377541	66.00	21.01	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona E
166	Y 08 E	745550	9377540	37.80	12.03	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
167	Y 09.1 E	745534	9377541	54.60	17.38	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
	Y 09.2 E	745534	9377540	58.50	18.62	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
168	Y 10 E	745544	9377537	43.90	13.97	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
169	Y 11 E	745552	9377535	42.20	13.43	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
170	Y 12 E	745551	9377535	37.00	11.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
171	Y 13 E	745553	9377531	41.20	13.11	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
172	Y 14 E	745550	9377532	44.30	14.10	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
173	Y 15 E	745546	9377530	45.00	14.32	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
174	Y 16 E	745547	9377524	56.00	17.83	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
175	Y 17.1 E	745538	9377526	39.70	12.64	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
	Y 17.2 E	-----	-----	37.00	11.78	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
176	Y 18 E	745534	9377526	43.50	13.85	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
177	Y 19 E	745539	9377522	43.50	13.85	Tomado a 1.60 m	Bosque Yanahuanca	Zona E
178	Y 20 E	745534	9377520	50.30	16.01	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
179	Y 21 E	745532	9377523	33.80	10.76	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
180	Y 22 E	745533	9377519	35.20	11.20	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
181	Y 23 E	745526	9377518	40.00	12.73	Bajo 5 cm	Bosque Yanahuanca	Zona E
182	Y 24 E	745527	9377518	36.30	11.55	Bajos 5 cm	Bosque Yanahuanca	Zona E
183	Y 25 E	745545	9377522	36.50	11.62	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
184	Y 26 E	745542	9377518	33.50	10.66	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
185	Y 27 E	745545	9377516	55.70	17.73	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
186	Y 28 E	745543	9377510	36.50	11.62	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E
187	Y 29 E	745546	9377480	73.50	23.40	-----	Bosque Yanahuanca	Zona E

Anexo 16. Tabla de registro de variables dendrométricas y atributos por cada árbol de acerillo

► En las columnas “Longitud de fuste” (LF) y “Altura total” (HT): “Ls” corresponde a la lectura superior ($L_s = \alpha/10$), “Li” a la lectura inferior ($L_i = \beta/10$) y “d” a la distancia (en metros) desde la cual se realizaron dichas lecturas mediante clinómetro, por cada árbol identificado.

► El cálculo de ambas variables (“LF” y “HT”) han sido determinadas bajo la notación: $[(L_s + L_i) \times d]$. Por otro lado, la altura comercial (HC), descontando la altura del tocón (0.30 metros) a la longitud del fuste: $HC = LF - 0.30$

Nro. Árbol	Cód. Árbol	CAP (cm)	DAP (cm)	Nota	LONGITUD DE FUSTE (LF)				ALTURA COMERCIAL	ALTURA TOTAL (HT)				Atributos del árbol			Observaciones adicionales
					Ls	Li	d	LF	HC	Ls	Li	d	HT	Forma de la copa	Iluminación de la copa	Calidad del fuste	
1	Y 01 A	113.00	35.97	-----	1.9	1.0	1.0	2.90	2.60	5.7	0.8	2.0	13.00	2	5	2	-----
2	Y 02 A	55.70	17.73	-----	1.1	1.6	1.0	2.70	2.40	8.2	1.6	1.0	9.80	3	3b	3	Sinuado
3	Y 03 A	75.00	23.87	-----	2.8	3.5	0.5	3.15	2.85	7.2	1.5	1.5	13.05	2	3b	3	Sinuado
4	Y 04 A	98.50	31.35	-----	4.6	3.8	0.5	4.20	3.90	9.2	1.5	1.5	16.05	2	4	3	Sinuado
5	Y 05 A	100.00	31.83	-----	3.3	3.1	0.5	3.20	2.90	6.8	0.7	2.0	15.00	3	4	3	Inclinado
6	Y 06 A	96.00	30.56	-----	2.7	1.4	1.0	4.10	3.80	8.0	1.0	1.5	13.50	2	3b	3	Inclinado
7	Y 07 A	73.00	23.24	-----	3.0	1.0	1.0	4.00	3.70	6.8	0.6	1.5	11.10	4	3a	3	Sinuado
8	Y 08 A	60.00	19.10	-----	3.3	1.1	1.0	4.40	4.10	7.2	0.7	1.5	11.85	4	3a	3	Inclinado
9	Y 09 A	94.50	30.08	-----	1.3	1.4	1.0	2.70	2.40	5.6	0.9	2.0	13.00	2	5	2	-----
10	Y 10 A	104.00	33.10	-----	3.2	2.5	1.0	5.70	5.40	5.5	0.9	2.0	12.80	2	5	3	-----
11	Y 11 A	99.50	31.67	-----	3.7	1.6	1.0	5.30	5.00	5.4	1.1	2.0	13.00	2	5	3	-----
12	Y 12 A	95.50	30.40	-----	4.6	2.8	0.5	3.70	3.40	6.7	1.1	1.5	11.70	2	5	3	-----
13	Y 13 A	70.00	22.28	-----	3.0	1.4	1.0	4.40	4.10	9.4	1.4	1.0	10.80	1	5	3	-----
14	Y 14 A	104.50	33.26	-----	1.0	1.6	1.0	2.60	2.30	5.6	0.9	2.0	13.00	2	5	2	Cerco vico
15	Y 15 A	90.00	28.65	-----	1.7	0.7	1.0	2.40	2.10	8.4	0.4	1.5	13.20	3	5	2	-----
16	Y 16 A	94.00	29.92	-----	1.6	1.9	1.0	3.50	3.20	6.8	1.6	1.5	12.60	1	5	3	-----

17	Y 17 A	110.00	35.01	-----				1.90	1.60	7.8	2.0	1.5	14.70	1	5	2	-----
18	Y 18 A	88.00	28.01	-----	1.2	1.6	1.0	2.80	2.50	7.5	1.2	1.5	13.05	1	5	3	-----
19	Y 19 A	58.40	18.59	-----	1.5	1.6	1.0	3.10	2.80	6.7	1.6	1.0	8.30	3	4	3	-----
20	Y 20 A	65.00	20.69	-----	3.0	0.7	1.0	3.70	3.40	6.7	0.1	1.5	10.20	3	4	3	-----
21	Y 21 A	78.70	25.05	-----	2.8	3.7	0.5	3.25	2.95	4.3	1.8	1.5	9.15	3	3b	3	-----
22	Y 22 A	58.30	18.56	-----				1.80	1.50	4.7	1.7	1.5	9.60	3	3b	3	-----
23	Y 23 A	62.70	19.96	-----	1.2	1.6	1.0	2.80	2.50	8.2	1.6	1.0	9.80	3	3a	3	-----
24	Y 24 A	59.30	18.88	-----	1.7	1.7	1.0	3.40	3.10	9.1	1.7	1.0	10.80	3	4	3	-----
25	Y 25 A	76.80	24.45	-----				1.80	1.50	12.0	0.6	1.0	12.60	2	4	2	-----
26	Y 26 A	96.00	30.56	-----				1.40	1.10	4.6	2.0	1.5	9.90	1	5	3	-----
27	Y 27 A	85.70	27.28	-----				1.50	1.20	5.7	1.9	1.5	11.40	1	4	4	-----
28	Y 28 A	55.30	17.60	-----	1.1	1.5	1.0	2.60	2.30	7.1	1.5	1.0	8.60	3	3b	3	-----
29	Y 29 A	61.00	19.42	-----	2.2	0.3	1.5	3.75	3.45	7.0	0.3	1.5	10.95	3	4	3	-----
30	Y 30 A	56.00	17.83	-----	2.2	0.2	1.5	3.60	3.30	7.6	0.2	1.5	11.70	4	4	3	-----
31	Y 31 A	47.00	14.96	-----	1.2	1.4	1.0	2.60	2.30	8.2	1.4	1.0	9.60	4	4	2	-----
32	Y 32 A	55.00	17.51	-----	1.3	1.4	1.0	2.70	2.40	8.1	1.4	1.0	9.50	3	4	3	-----
33	Y 33.1 A	53.20	16.93	-----	6.1	0.9	0.5	3.50	3.20	9.4	1.4	1.0	10.80	2	5	3	-----
	Y 33.2 A	48.50	15.44	-----	3.8	0.5	0.5	2.15	1.85								
34	Y 34 A	70.00	22.28	-----				2.00	1.70	10.4	0.6	1.0	11.00	3	4	2	-----
35	Y 35 A	97.00	30.88	-----	1.0	0.8	1.5	2.70	2.40	6.6	0.8	1.5	11.10	2	5	3	-----
36	Y 36 A	74.00	23.55	-----				2.10	1.80	6.0	0.3	1.5	9.45	3	5	3	-----
37	Y 37 A	62.00	19.74	-----	1.5	1.2	1.0	2.70	2.40	9.0	1.2	1.0	10.20	1	5	3	-----
38	Y 38.1 A	84.00	26.74	-----	3.5	3.6	0.5	3.55	3.25	7.8	1.8	1.5	14.40	2	5	3	-----
	Y 38.2 A	85.50	27.22	-----	1.2	3.6	0.5	2.40	2.10	7.8	1.8	1.5	14.40				
39	Y 39 A	38.00	12.10	-----				1.80	1.50	10.6	1.6	1.0	12.20	2	5	2	-----
40	Y 40 A	79.50	25.31	-----				2.20	1.90	7.0	1.0	1.5	12.00	3	5	3	-----
41	Y 41 A	85.70	27.28	Tomado a 1.60 m	4.6	2.0	0.5	3.30	3.00	7.8	0.2	1.5	12.00	2	4	3	-----

42	Y 42 A	78.50	24.99	-----				2.60	2.30	6.7	0.2	1.5	10.35	2	4	2	-----	
43	Y 43 A	103.00	32.79	-----	1.7	1.5	1.0	3.20	2.90	5.7	0.9	2.0	13.20	1	5	3	-----	
44	Y 44 A	81.50	25.94	-----	2.7	1.5	1.0	4.20	3.90	6.8	1.1	1.5	11.85	4	5	3	-----	
45	Y 45 A	91.00	28.97	-----	1.7	1.6	1.0	3.30	3.00	7.0	1.2	1.5	12.30	4	5	3	-----	
46	Y 46 A	111.00	35.33	-----				2.30	2.00	8.8	0.8	1.5	14.40	4	5	2	-----	
47	Y 47 A	109.00	34.70	-----				2.00	1.70	13.4	1.8	1.0	15.20	5	5	3	-----	
48	Y 48 A	99.50	31.67	-----	2.0	3.3	0.5	2.65	2.35	12.6	1.9	1.0	14.50	3	4	2	Bifurcado (talado)	
49	Y 49 A	83.50	26.58	-----	2.4	3.3	0.5	2.85	2.55	10.0	1.8	1.0	11.80	4	4	3	-----	
50	Y 50 A	79.00	25.15	-----	1.8	1.7	1.0	3.50	3.20	9.2	1.7	1.0	10.90	3	5	3	-----	
51	Y 51 A	92.00	29.28	-----				2.30	2.00	6.7	1.0	1.5	11.55	1	4	3	-----	
52	Y 52 A	98.00	31.19	-----	3.0	2.3	1.0	5.30	5.00	7.4	1.1	1.5	12.75	1	4	3	-----	
53	Y 53 A	89.50	28.49	-----	4.4	0.7	1.0	5.10	4.80	7.8	0.9	1.5	13.05	2	5	3	-----	
54	Y 54.1 A	43.50	13.85	-----				1.70	1.40	9.4	1.1	1.0	10.50	1	5	3	-----	
	Y 54.2 A	37.00	11.78	-----				2.30	2.00	9.4	1.1	1.0	10.50					
55	Y 01 B	69.00	21.96	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3	4	2	Bifurcado debajo de 1.30 (talado)	
56	Y 02.1 B	53.50	17.03	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3	1	4	3	-----
	Y 02.2 B	64.50	20.53	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3		4	3	-----
57	Y 03 B	98.00	31.19	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3	4	3	Fuste con daño mecánico	
58	Y 04 B	74.00	23.55	Tomado a 1.60 m	--	--	--	---	---	--	--	--	---	2	4	2	-----	
59	Y 05.1 B	41.00	13.05	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	4	4	3b	3	Inclinado
	Y 05.2 B	41.00	13.05	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	5		3a	3	Inclinado
60	Y 06 B	37.50	11.94	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	5	2a	3	Inclinado	
61	Y 07.1 B	50.50	16.07	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3	1	4	3	-----
	Y 07.2 B	47.50	15.12	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	3			3	-----
	Y 07.3 B	38.00	12.10	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	4			3	-----
62	Y 08 B	40.00	12.73	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	4	2b	2	-----	
63	Y 09 B	65.00	20.69	-----	--	--	--	---	---	--	--	--	---	2	4	3	Sinuado	

64	Y 10 B	38.70	12.32	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	3	Sinuado, presenta ramas secas		
65	Y 11.1 B	42.00	13.37	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Inclinado		
	Y 11.2 B	29.00	9.23	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	2a	3	Inclinado		
66	Y 12 B	42.00	13.37	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	2b	3	Sinuado		
67	Y 13 B	33.70	10.73	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	2a	3	Inclinado (No para pre muestreo)		
68	Y 14 B	32.00	10.19	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3a	3	Sinuado		
69	Y 15.1 B	32.50	10.35	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3	3b	3	Sinuado	
	Y 15.2 B	29.00	9.23	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5		3b	3	Sinuado	
70	Y 16 B	33.00	10.50	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	2a	3	Inclinado (No para pre muestreo)		
71	Y 17 B	72.00	22.92	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	3	Inclinado		
72	Y 18 B	36.00	11.46	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	4	3	Sinuado		
73	Y 19 B	39.50	12.57	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3b	3	Inclinado, bifurcado (talado)		
74	Y 20 B	39.00	12.41	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3a	3	Sinuado		
75	Y 21 B	55.00	17.51	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	3	Inclinado		
76	Y 22 B	49.00	15.60	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	2	Sinuado		
77	Y 23 B	34.00	10.82	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	4	3	Sinuado		
78	Y 24 B	43.30	13.78	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	4	3	Inclinado		
79	Y 25 B	38.20	12.16	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	4	3	Sinuado		
80	Y 26.1 B	39.50	12.57	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3			3	Sinuado	
	Y 26.2 B	35.30	11.24	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4		3	4	3	Sinuado
	Y 26.3 B	24.20	7.70	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5				3	Sinuado
81	Y 27 B	62.00	19.74	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Inclinado		
82	Y 28 B	53.00	16.87	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Inclinado		
83	Y 29.1 B	37.70	12.00	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	1	3	-----		
	Y 29.2 B	45.50	14.48	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	1	3	-----		
84	Y 30.1 B	33.00	10.50	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3a	3	Inclinado		
	Y 30.2 B	20.80	6.62	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	1	3	Sinuado		

85	Y 31 B	48.00	15.28	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	3a	3	Sinuado
86	Y 32.1 B	48.00	15.28	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Sinuado
	Y 32.2 B	16.70	5.32	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	1	3	Sinuado
87	Y 33 B	62.00	19.74	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	3	Sinuado
88	Y 34 B	34.80	11.08	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5	3b	3	Inclinado
89	Y 35 B	53.00	16.87	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	3b	3	Inclinado
90	Y 36 B	40.00	12.73	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	3b	3	Inclinado
91	Y 37.1 B	62.00	19.74	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4	4	3	Inclinado
	Y 37.2 B	65.00	20.69	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Sinuado
92	Y 38 B	35.30	11.24	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	4	3	Sinuado
93	Y 39.1 B	37.00	11.78	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	3 4	3	Sinuado
	Y 39.2 B	25.00	7.96	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	5		3a	3
94	Y 40 B	32.60	10.38	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	4	3	Sinuado
95	Y 41 B	38.90	12.38	Tomado a 1.60 m	--	--	--	----	---	--	--	--	---	2	2b	3	Sinuado
96	Y 42.1 B	51.60	16.42	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	3	2 4	3	Sinuado
	Y 42.2 B	38.10	12.13	-----	--	--	--	----	---	--	--	--	---	4		4	3
97	Y 01 C	68.30	21.74	-----	1.8	3.1	0.5	2.45	2.15	6.5	1.2	1.5	11.55	2	4	3	Inclinado
98	Y 02 C	72.70	23.14	-----	2.7	3.2	0.5	2.95	2.65	6.6	1.3	1.5	11.85	2	4	3	Inclinado
99	Y 03 C	94.30	30.02	Tomado a 1.60 m	2.5	3.0	0.5	2.75	2.45	5.3	1.0	2.0	12.60	2	5	3	Sinuado
100	Y 04 C	72.30	23.01	-----	5.5	3.2	0.5	4.35	4.05	5.8	1.2	1.5	10.50	2	4	3	Inclinado
101	Y 05 C	67.00	21.33	Tomado a 1.60 m	4.5	2.9	0.5	3.70	3.40	5.6	1.1	1.5	10.05	2	4	3	Inclinado
102	Y 06 C	64.60	20.56	-----	4.4	3.1	0.5	3.75	3.45	6.1	1.2	1.5	10.95	1	5	2	-----
103	Y 07 C	80.00	25.46	-----	3.2	3.3	0.5	3.25	2.95	6.0	1.2	1.5	10.80	2	5	3	Sinuado (Bifurcado de la base, talado)
104	Y 08 C	81.70	26.01	Tomado a 1.60 m	2.5	3.0	0.5	2.75	2.45	6.5	1.1	1.5	11.40	3	4	3	Sinuado. Rajadura en parte alta
105	Y 09 C	58.00	18.46	-----	5.5	2.9	0.5	4.20	3.90	5.7	1.1	1.5	10.20	2	4	3	Sinuado
106	Y 10 C	80.00	25.46	-----	3.3	1.0	0.5	2.15	1.85	5.8	1.3	1.5	10.65	3	5	2	Sinuado. Rajadura en parte alta
107	Y 11 C	68.50	21.80	-----	6.0	3.0	0.5	4.50	4.20	6.0	0.9	1.5	10.35	2	5	2	-----

108	Y 12.1 C	60.00	19.10	-----	2.3	1.8	1.0	4.10	3.80					3	2	4	5	3	Sinuado
	Y 12.2 C	55.50	17.67	-----	2.8	1.8	1.0	4.60	4.30	6.2	1.3	1.5	11.25	3	2	4	5	3	Sinuado
109	Y 13 C	60.50	19.26	-----	3.0	2.9	0.5	2.95	2.65	5.3	1.5	1.0	6.80	1		5		3	Sinuado. De porte bajo
110	Y 01.1 D	50.70	16.14	Tomado a 1.60 m	1.5	3.5	0.5	2.50	2.20					3	2			3	Inclinado
	Y 01.2 D	55.50	17.67	-----	5.2	3.5	0.5	4.35	4.05	5.5	1.6	1.5	10.65	3		5		3	Inclinado
111	Y 02 D	48.70	15.50	-----	2.5	3.5	0.5	3.00	2.70	6.6	1.9	1.0	8.50	2		5		3	Sinuado
112	Y 03 D	48.00	15.28	-----	3.5	1.8	1.0	5.30	5.00	5.7	1.3	1.5	10.50	2		4		3	Sinuado
113	Y 04.1 D	53.00	16.87	-----	4.2	3.3	0.5	3.75	3.45	5.5	1.3	1.5	10.20					3	Inclinado
	Y 04.2 D	31.00	9.87	-----	2.6	3.3	0.5	2.95	2.65	5.2	3.3	0.5	4.25	2		4			-----
114	Y 05 D	93.00	29.60	Bajo 15 cm				1.40	1.10	7.1	0.6	1.5	11.55	2		5		3	Sinuado
115	Y 06 D	71.00	22.60	-----	2.2	2.0	1.0	4.20	3.90	6.2	1.6	1.5	11.70	2		5		3	Sinuado (Poda de ramas)
116	Y 07 D	47.00	14.96	-----	3.7	1.4	1.0	5.10	4.80	5.9	0.8	1.5	10.05	3		4		3	Sinuado
117	Y 08 D	47.20	15.02	-----	4.0	1.5	1.0	5.50	5.20	9.0	1.5	1.0	10.50	2		4		3	Inclinado, bifurcado (talado)
118	Y 09 D	44.00	14.01	-----	3.2	1.3	1.0	4.50	4.20	9.2	1.3	1.0	10.50	2		5		3	Sinuado
119	Y 10 D	41.50	13.21	-----	3.8	1.4	1.0	5.20	4.90	8.6	1.4	1.0	10.00	2		4		3	Sinuado
120	Y 11 D	44.00	14.01	-----	3.5	1.5	1.0	5.00	4.70	9.6	1.5	1.0	11.10	3		4		3	Sinuado
121	Y 12 D	39.50	12.57	-----	5.0	3.1	0.5	4.05	3.75	7.0	1.6	1.0	8.60	3		4		3	Sinuado
122	Y 13 D	53.50	17.03	-----	2.7	2.5	0.5	2.60	2.30	9.6	1.5	1.0	11.10	3		4		3	Inclinado
123	Y 14 D	50.00	15.92	-----	1.6	2.9	0.5	2.25	1.95	8.6	1.4	1.0	10.00	3		4		3	Inclinado
124	Y 15 D	61.00	19.42	-----	2.8	2.7	0.5	2.75	2.45	7.2	0.7	1.5	11.85	3		4		3	Sinuado
125	Y 16 D	70.80	22.54	-----	3.0	2.0	1.0	5.00	4.70	6.1	1.5	1.5	11.40	3		4		2	Bifurcado (talado)
126	Y 17 D	48.50	15.44	-----	2.5	2.1	1.0	4.60	4.30	8.8	2.1	1.0	10.90	2		5		3	Inclinado. Rama podada
127	Y 18.1 D	58.00	18.46	-----	4.1	1.0	1.0	5.10	4.80	9.6	1.0	1.0	10.60	2		5		3	Inclinado
	Y 18.2 D	47.00	14.96	-----	3.0	1.0	1.0	4.00	3.70	11.6	1.0	1.0	12.60	4		5		3	Sinuado
128	Y 19 D	49.40	15.72	Bajo 5 cm	2.5	1.1	1.0	3.60	3.30	9.0	1.1	1.0	10.10	3		4		3	Sinuado
129	Y 20 D	65.40	20.82	-----	1.5	2.7	0.5	2.10	1.80	7.2	0.8	1.5	12.00	2		5		3	Inclinado
130	Y 21.1 D	58.00	18.46	-----	3.4	1.0	1.0	4.40	4.10	10.8	1.0	1.0	11.80	2		5		3	Sinuado

	Y 21.2 D	40.00	12.73	-----	1.4	1.0	1.0	2.40	2.10	5.7	1.0	1.0	6.70	4	3a	3	Inclinado. Pudrición de rama a 1.30 m			
131	Y 22 D	33.30	10.60	-----	5.0	2.7	0.5	3.85	3.55	5.8	1.2	1.0	7.00	2	4	2	-----			
132	Y 23 D	43.30	13.78	-----	9.4	3.3	0.5	6.35	6.05	9.8	1.6	1.0	11.40	2	4	3	Inclinado			
133	Y 24 D	34.30	10.92	Tomado a 1.60 m	4.6	2.7	0.5	3.65	3.35	7.0	1.2	1.0	8.20	2	4	3	Sinuado			
134	Y 25 D	39.00	12.41	-----	4.6	2.7	0.5	3.65	3.35	8.4	1.2	1.0	9.60	2	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)			
135	Y 26 D	34.00	10.82	Tomado a 1.60 m	3.1	2.5	1.0	5.60	5.30	7.6	2.5	1.0	10.10	3	5	3	Sinuado			
136	Y 27 D	42.50	13.53	Tomado a 1.60 m	2.5	3.4	0.5	2.95	2.65	7.4	2.1	1.0	9.50	2	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)			
137	Y 28 D	31.80	10.12	-----	3.0	1.4	1.0	4.40	4.10	7.0	1.4	1.0	8.40	2	4	3	Sinuado			
138	Y 29 D	34.50	10.98	-----	5.2	2.7	0.5	3.95	3.65	7.6	1.2	1.0	8.80	2	4	3	Sinuado			
139	Y 30 D	42.20	13.43	-----	6.5	2.8	0.5	4.65	4.35	9.4	1.5	1.0	10.90	2	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)			
140	Y 31 D	42.30	13.46	-----	6.0	3.8	0.5	4.90	4.60	8.6	2.2	1.0	10.80	3	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)			
141	Y 32 D	52.00	16.55	-----	3.6	4.0	0.5	3.80	3.50	9.6	2.3	1.0	11.90	2	4	3	Sinuado			
142	Y 33 D	66.00	21.01	-----	2.7	2.7	0.5	2.70	2.40	6.8	0.7	1.5	11.25	2	4	3	Sinuado			
143	Y 34.1 D	49.20	15.66	-----	2.7	1.6	1.0	4.30	4.00	10.0	1.6	1.0	11.60	3	4	3	Inclinado			
	Y 34.2 D	48.00	15.28	-----	3.5	1.6	1.0	5.10	4.80					2			3	Inclinado		
144	Y 35.1 D	34.80	11.08	Tomado a 1.60 m	3.0	1.4	1.0	4.40	4.10	9.0	1.4	1.0	10.40	3	3	4	3	Inclinado		
	Y 35.2 D	31.30	9.96	Tomado a 1.60 m	2.9	1.4	1.0	4.30	4.00					4				3	Inclinado	
145	Y 36 D	43.00	13.69	-----	3.7	1.3	1.0	5.00	4.70	9.6	1.3	1.0	10.90	3	4	3	Sinuado			
146	Y 37.1 D	47.00	14.96	-----	3.5	1.4	1.0	4.90	4.60	9.6	1.4	1.0	11.00	2	2	4	3	Inclinado		
	Y 37.2 D	46.00	14.64	Tomado a 1.60 m	2.9	1.4	1.0	4.30	4.00					3				3	Inclinado	
147	Y 38 D	39.50	12.57	Tomado a 1.60 m	3.5	2.7	0.5	3.10	2.80	7.8	1.2	1.0	9.00	3	3b	3	Inclinado. Brote a la altura de tocón.			
148	Y 39.1 D	44.50	14.16	-----	6.5	3.1	0.5	4.80	4.50	11.8	1.5	1.0	13.30	2	5	3	Sinuado			
	Y 39.2 D	40.40	12.86	-----	5.3	3.1	0.5	4.20	3.90					2			3	5	3	Sinuado
	Y 39.3 D	37.00	11.78	Tomado a 1.60 m	12.0	3.1	0.5	7.55	7.25					2			5	3	Sinuado	
149	Y 40.1 D	53.50	17.03	-----	0.9	1.7	1.0	2.60	2.30	9.2	1.7	1.0	10.90	2	3	5	3	Inclinado		
	Y 40.2 D	49.00	15.60	-----	3.8	1.7	1.0	5.50	5.20					10.6				1.7	1.0	12.30
150	Y 41 D	43.50	13.85	-----	3.5	3.0	0.5	3.25	2.95	7.8	1.3	1.0	9.10	3	4	3	Inclinado			

151	Y 42 D	72.70	23.14	-----	2.0	3.0	0.5	2.50	2.20	6.3	1.2	1.5	11.25	1	5	3	Inclinado
152	Y 43 D	45.80	14.58	-----	5.0	2.5	0.5	3.75	3.45	9.0	1.0	1.0	10.00	2	5	3	Sinuado
153	Y 44 D	73.00	23.24	-----	3.5	2.8	0.5	3.15	2.85	9.6	1.2	1.0	10.80	2	4	3	Inclinado
154	Y 45 D	66.50	21.17	-----	3.5	1.3	1.0	4.80	4.50	11.2	1.3	1.0	12.50	3	4	3	Sinuado
155	Y 46 D	49.00	15.60	-----	5.0	2.7	0.5	3.85	3.55	8.0	1.1	1.0	9.10	3	4	3	Sinuado
156	Y 47 D	72.00	22.92	-----	2.7	2.8	0.5	2.75	2.45	6.5	0.6	1.5	10.65	2	5	3	Sinuado. Presenta poda de ramas.
157	Y 48 D	62.50	19.89	-----	2.2	1.5	1.0	3.70	3.40	11.0	1.5	1.0	12.50	2	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado).
158	Y 49.1 D	55.70	17.73	-----	3.5	1.6	1.0	5.10	4.80	7.0	1.0	1.5	12.00	3	5	3	Inclinado
	Y 49.2 D	53.00	16.87	-----	2.9	1.6	1.0	4.50	4.20	5.8	1.0	1.5	10.20	3	5	3	Inclinado
159	Y 01 E	49.00	15.60	-----	2.5	1.7	1.0	4.20	3.90	8.4	1.7	1.0	10.10	1	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)
160	Y 02 E	62.90	20.02	-----	3.9	1.2	1.0	5.10	4.80	9.0	1.2	1.0	10.20	3	4	3	Inclinado
161	Y 03 E	42.70	13.59	-----	3.0	1.2	1.0	4.20	3.90	7.6	1.2	1.0	8.80	3	5	3	Inclinado
162	Y 04 E	70.50	22.44	-----	2.0	2.7	0.5	2.35	2.05	6.8	0.7	1.5	11.25	2	5	3	Sinuado
163	Y 05 E	52.70	16.77	-----	3.7	1.4	1.0	5.10	4.80	10.8	1.4	1.0	12.20	2	4	3	Sinuado
164	Y 06 E	37.80	12.03	-----	2.7	2.2	1.0	4.90	4.60	8.6	2.2	1.0	10.80	2	4	3	Sinuado
165	Y 07 E	66.00	21.01	Tomado a 1.60 m	4.3	2.8	0.5	3.55	3.25	6.5	0.6	1.5	10.65	2	4	3	Inclinado
166	Y 08 E	37.80	12.03	-----	2.8	1.7	1.0	4.50	4.20	8.4	1.7	1.0	10.10	3	3b	3	Sinuado
167	Y 09.1 E	54.60	17.38	-----	2.0	3.2	0.5	2.60	2.30	5.3	1.0	1.5	9.45	3	4	3	Inclinado
	Y 09.2 E	58.50	18.62	-----	1.7	3.2	0.5	2.45	2.15	5.5	1.0	1.5	9.75	3	5	3	Inclinado
168	Y 10 E	43.90	13.97	-----	2.7	1.7	1.0	4.40	4.10	9.0	1.7	1.0	10.70	2	4	3	Sinuado
169	Y 11 E	42.20	13.43	-----	2.9	1.5	1.0	4.40	4.10	8.6	1.5	1.0	10.10	3	3b	3	Inclinado
170	Y 12 E	37.00	11.78	-----	1.8	2.3	1.0	4.10	3.80	9.0	2.3	1.0	11.30	3	3b	3	Sinuado
171	Y 13 E	41.20	13.11	-----	2.9	1.2	1.0	4.10	3.80	8.4	1.2	1.0	9.60	3	4	3	Sinuado
172	Y 14 E	44.30	14.10	-----	6.0	2.6	0.5	4.30	4.00	10.0	1.1	1.0	11.10	3	4	3	Sinuado
173	Y 15 E	45.00	14.32	-----	2.7	1.5	1.0	4.20	3.90	7.6	1.5	1.0	9.10	2	4	3	Sinuado
174	Y 16 E	56.00	17.83	-----	6.0	2.7	0.5	4.35	4.05	8.4	1.1	1.0	9.50	2	5	3	Inclinado
175	Y 17.1 E	39.70	12.64	-----	4.1	2.5	0.5	3.30	3.00	9.2	1.1	1.0	10.30	3	2	3	Inclinado

	Y 17.2 E	37.00	11.78	-----	3.2	2.5	0.5	2.85	2.55	8.6	1.1	1.0	9.70	3	4	3	Inclinado
176	Y 18 E	43.50	13.85	-----	4.3	2.8	0.5	3.55	3.25	9.2	1.2	1.0	10.40	3	3b	3	Sinuado
177	Y 19 E	43.50	13.85	Tomado a 1.60 m	5.3	2.6	0.5	3.95	3.65	8.8	1.0	1.0	9.80	2	4	3	Sinuado. Bifurcado (talado)
178	Y 20 E	50.30	16.01	-----	1.3	1.5	1.0	2.80	2.50	9.0	1.5	1.0	10.50	3	4	3	Inclinado
179	Y 21 E	33.80	10.76	-----	2.1	1.6	1.0	3.70	3.40	7.6	1.6	1.0	9.20	4	3b	3	Sinuado
180	Y 22 E	35.20	11.20	-----	3.5	1.3	1.0	4.80	4.50	9.2	1.3	1.0	10.50	4	3a	3	Sinuado
181	Y 23 E	40.00	12.73	Bajo 5 cm	2.2	1.3	1.0	3.50	3.20	9.4	1.3	1.0	10.70	3	3a	3	Inclinado. Bifurcado (talado)
182	Y 24 E	36.30	11.55	Bajo 5 cm	2.2	1.4	1.0	3.60	3.30	8.4	1.4	1.0	9.80	3	3b	3	Sinuado
183	Y 25 E	36.50	11.62	-----	3.0	1.1	1.0	4.10	3.80	9.2	1.1	1.0	10.30	3	3b	3	Sinuado
184	Y 26 E	33.50	10.66	-----	3.4	1.8	1.0	5.20	4.90	8.6	1.8	1.0	10.40	3	3b	3	Sinuado
185	Y 27 E	55.70	17.73	-----	7.6	2.6	0.5	5.10	4.80	9.6	1.1	1.0	10.70	3	4	3	Inclinado
186	Y 28 E	36.50	11.62	-----	4.3	2.4	0.5	3.35	3.05	6.9	1.1	1.0	8.00	2	4	3	Inclinado
187	Y 29 E	73.50	23.40	-----	2.3	1.6	1.0	3.90	3.60	11.0	1.6	1.0	12.60	2	5	3	Inclinado

Anexo 17. Tabulación para el cálculo manual del coeficiente de correlación “r” entre DAP-DC, según el planteamiento de Romahn y Ramírez (2010)

n_i	DAP (cm) x	Diámetro Copa (m) y	x^2	y^2	xy
1	35.97	10.13	1293.76	102.52	364.19
2	30.08	9.02	904.82	81.27	271.17
3	33.10	8.58	1095.88	73.62	284.03
4	30.40	8.01	924.07	64.08	243.34
5	22.28	5.93	496.47	35.16	132.13
6	33.26	9.05	1106.45	81.90	301.03
7	29.92	7.53	895.27	56.70	225.31
8	35.01	10.08	1225.98	101.61	352.94
9	28.01	8.34	784.63	69.56	233.61
10	30.56	7.70	933.77	59.21	235.14
11	30.88	8.50	953.33	72.17	262.29
12	19.74	6.21	389.48	38.56	122.56
13	12.10	4.98	146.31	24.75	60.18
14	32.79	9.11	1074.91	82.99	298.68
15	31.19	7.13	973.08	50.77	222.26
16	20.56	5.96	422.83	35.46	122.45
17	25.46	6.49	648.45	42.06	165.14
18	21.80	6.46	475.42	41.67	140.75
19	19.26	3.99	370.86	15.88	76.74
20	15.50	3.99	240.30	15.88	61.77
21	29.60	9.16	876.32	83.81	271.01
22	10.12	4.11	102.46	16.85	41.55
23	10.98	3.34	120.60	11.16	36.68
24	21.01	5.35	441.35	28.57	112.29
25	23.14	6.92	535.51	47.82	160.02
26	14.58	3.81	212.53	14.52	55.54
27	22.44	7.27	503.59	52.85	163.14
28	14.32	4.11	205.17	16.89	58.87
29	11.62	2.87	134.98	8.21	33.29
30	23.40	7.89	547.36	62.17	184.48
$n = 30$	$\sum x = 719.09$	$\sum y = 201.93$	$\sum x^2 = 19035.96$	$\sum y^2 = 1488.66$	$\sum xy = 5292.59$
$(\sum x) * (\sum y) = 145205.8437$					
$(\sum x)^2 = 517090.4281$					
$(\sum y)^2 = 40775.72490$					

Reemplazando en la ecuación:

$$r_{(DAP-DC)} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2] * [n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} = \frac{13571.85630}{14480.84566} = \mathbf{0.9372}$$

Anexo 18. Tabulación para el cálculo de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal, según lo descrito por Dicovski (2016)

n_i	DAP (cm) x	Diámetro Copa (m) y	xy	x^2
1	35.97	10.13	364.20	1293.84
2	30.08	9.02	271.17	904.81
3	33.10	8.58	284.00	1095.61
4	30.40	8.01	243.35	924.16
5	22.28	5.93	132.12	496.40
6	33.26	9.05	301.03	1106.45
7	29.92	7.53	225.31	895.27
8	35.01	10.08	352.94	1225.98
9	28.01	8.34	233.61	784.63
10	30.56	7.70	235.14	933.77
11	30.88	8.50	262.29	953.33
12	19.74	6.21	122.56	389.48
13	12.10	4.98	60.18	146.31
14	32.79	9.11	298.68	1074.91
15	31.19	7.13	222.26	973.08
16	20.56	5.96	122.45	422.83
17	25.46	6.49	165.14	648.45
18	21.80	6.46	140.75	475.42
19	19.26	3.99	76.74	370.86
20	15.50	3.99	61.77	240.30
21	29.60	9.16	271.01	876.32
22	10.12	4.11	41.55	102.46
23	10.98	3.34	36.68	120.60
24	21.01	5.35	112.29	441.35
25	23.14	6.92	160.02	535.51
26	14.58	3.81	55.54	212.53
27	22.44	7.27	163.14	503.59
28	14.32	4.11	58.87	205.17
29	11.62	2.87	33.29	134.98
30	23.40	7.89	184.48	547.36
$n = 30$	$\sum x = 719.09$	$\sum y = 201.93$	$\sum xy = 5292.56$	$\sum x^2 = 19035.77$
	$\sum \bar{x} = 23.9697$	$\sum \bar{y} = 6.7310$		

Cálculo de los coeficientes:

$$b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} = \frac{5292.56 - \frac{719.09 \times 201.93}{30}}{19035.77 - \frac{(719.09)^2}{30}} = \frac{452.37}{1799.42} = \mathbf{0.2514}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} = 6.7310 - (0.2514 \times 23.9697) = \mathbf{0.7050}$$