

Algoritmo semiautomático para el conteo de árboles en plantaciones forestales mediante el uso de imágenes aéreas

Diego Falk^{1*}, Alfredo N Campos^{2*†}

*Departamento de Electrónica, Facultad Regional.
Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.
Medrano 951 Buenos Aires, Argentina.

¹diegofalk1@gmail.com

²acampos@electron.frba.utn.edu.ar

†Instituto de Clima y Agua, Centro de Investigación en
Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología
Agropecuaria. Los reseros y Las cabañas S/N, Hurlingham,
Argentina

²campos.alfredo@inta.gob.ar

Resumen La detección de árboles mediante imágenes aéreas es de importancia para la generación de inventarios forestales. Si bien existen varios métodos para cumplir este objetivo, ninguno puede operar en distintos tipos de forestaciones. En este trabajo se presenta un método semiautomático que se basa en el uso de imágenes multiespectrales de alta resolución en combinación de un modelo que caracteriza la geometría de la copa del árbol y de la sombra que el mismo proyecta. La aplicación de esta metodología sobre imágenes tomadas sobre una plantación de cítricos en la provincia de Salta arroja una exactitud general mayor al 92%. En cuanto a los errores de detección se observa que los de omisión superan levemente a los de comisión.

Keywords: árbol, teledetección, forestaciones, sensores aerotransportados.

1. Introducción

El estudio y seguimiento de bosques y plantaciones forestales han adquirido una importancia relevante dado su vínculo con actividades como ser: seguimiento de los recursos forestales [1–3], conservación del medio ambiente [2,4], producción maderera [2,3], estudios hidrológicos [2], prevención y atenuación de desastres naturales [2], captación de CO_2 [3] y preservación de la biodiversidad [3]. Un inventario actualizado permite comprender el estado actual de la forestación y su evolución con el paso del tiempo, pudiendo detectar cambios abruptos (*e.g.* la muerte de un árbol, tala, impacto de un incendio), o cambios graduales (*e.g.* el crecimiento anual, enfermedades, plagas) [5]. Además, la discriminación de diferentes formas y tamaños permite caracterizar un árbol brindando información sobre su especie y edad [6].

Entre las principales técnicas para la confección de inventarios forestales se puede mencionar el uso de estadísticas públicas y privadas, las campañas de visita a campo y la utilización de sensores remotos. Esta última metodología presenta la ventaja intrínseca de poder cubrir áreas espacialmente extensas, proveyendo información multiespectral con tiempos de revisita que, según la plataforma, van desde algunos minutos hasta meses. La resolución de las imágenes es un factor relevante para el conteo de árboles en plantaciones forestales. En algunos casos, analizar imágenes a distintas escalas puede generar una mejor segmentación [7].

La detección de árboles mediante procesamiento digital de imágenes puede ser abordado mediante segmentación espectral, utilización de modelos de elevación y reconocimiento de formas geométricas. La segmentación espectral se basa en que cada objeto tiene una característica única de reflexión y emisión de energía electromagnética llamada firma espectral [8], técnicas de detección de bordes son utilizadas posteriormente para la delineación de las copas [9]. Dado el contraste en la banda infrarroja entre zonas ocupadas por vegetación activa de alta intensidad y zonas de suelo de baja intensidad, es posible encontrar máximos locales que representan los centros geométricos de las copas de los árboles [10]. Los modelos de elevación se realizan mediante escaneos laser aéreos [11], donde se realiza una clasificación mediante la diferencia de altura relativa entre un árbol y su área circundante. La representación de objetos a través de modelos geométricos [12], permite buscar en las imágenes figuras geométricas e identificar parámetros morfométricos. Es importante destacar, que a pesar de los innumerables avances en este campo, estudios como los presentado por Pouliot *et al.* (2002) [13], Eriksson *et al.* (2004) [14] y Li Duncanson (2013) [15] revelan que los métodos utilizados aún no consiguen caracterizar con exactitud la totalidad de los parámetros buscados y que ninguno de estos métodos es capaz de lograr resultados significativos al ser aplicados en diferentes tipos de áreas forestales (forestales de diferentes especies, diferentes formas de copas, superposición de árboles, diferente nivel de los terrenos, etc.).

En este trabajo se propone un algoritmo para la detección y conteo de árboles en plantaciones forestales mediante el uso de imágenes de alta resolución obtenidas con sensores aerotransportados. Dicho algoritmo genera una función de probabilidad que combina zonas de copas y zonas de sombras permitiendo identificar un árbol no sólo por la intensidad de su copa en la porción infrarroja del espectro, sino también por su contexto lumínico. Además, se utilizará un modelo geométrico para la discriminación de diferentes árboles según sus parámetros espaciales (*i.e.* tamaño y forma de la copa).

2. Materiales y Métodos

2.1. Imágenes usadas

Se obtuvieron cinco imágenes mediante una cámara multiespectral GeoSpatial MS4100 a bordo de un avión Sky Arrow ERA. En esta aplicación la cámara fue configurada para operar en el modo espectral CIR (Color-Infrared), el cual trabaja con las bandas Infrarrojo Cercano (NIR), Rojo (R) y Verde (G). Los

espectros registrados por el sensor para cada banda son 530-580nm (G), 650-685nm (R) y 770-830nm (NIR). Cada imagen cuenta con un tamaño de 1920 x 1075 píxeles y 8 bits por banda. La resolución espacial de las imágenes era de aproximadamente 50cm. Las imágenes fueron capturadas sobre una plantación de cítricos en la provincia de Salta (Lat/Lon: -24.332151/-64.058082).

2.2. Modelo matemático

En una imagen aérea, tomada desde un ángulo cenital, los árboles pueden ser reconocidos por la forma de la copa, similar a un círculo, y por la sombra que proyectan sobre el suelo con forma elíptica [12]. Dada las características de las copas de los árboles, presentan altos valores en la banda del infrarrojo cercano, mientras que las zonas cubiertas por sombras presentan valores bajos en todas las bandas. Para diferenciar dichas zonas, se presentó un modelo con cuatro parámetros (fig 1): Un centro con dos coordenadas de posición $P = [P_x; P_y]$, un radio menor α , un radio mayor β y un ángulo ϕ . Para la selección de dichos parámetros una serie de elipses configurables (representando el modelo de la figura 1) son mostrados sobre la imagen a analizar permitiendo al usuario ajustar visualmente los valores anteriormente mencionados. Es así como quedaron definidas dos zonas: *ZONA 1* con alta intensidad infrarroja representando la copa del árbol. *ZONA 2* con baja intensidad infrarroja representando la sombra del mismo.

De esta manera, una vez definidas las coordenadas del punto $P = [P_x; P_y]$, cualquier punto Q se consideró parte de *ZONA 1* si:

$$\in ZONA\ 1 / \|Q - P\| < \alpha \quad (1)$$

Por otro lado, $Q =$ se consideró parte de *ZONA 2*, si:

$$d = \sqrt{\beta^2 - \alpha^2} \quad (2)$$

$$F1_x = P_x + d \cdot \cos(\phi) \quad (3)$$

$$F1_y = P_y + d \cdot \sin(\phi) \quad (4)$$

$$F2_x = P_x - d \cdot \cos(\phi) \quad (5)$$

$$F2_y = P_y - d \cdot \sin(\phi) \quad (6)$$

$$D1 = \|Q - F1\| \quad (7)$$

$$D2 = \|Q - F2\| \quad (8)$$

$$\in ZONA\ 2 / \begin{cases} \alpha < (D1 + D2) < \beta \\ D1 > D2 \end{cases} \quad (9)$$

siendo Q un punto cualquiera con coordenadas $[Q_x; Q_y]$, d la diferencia cuadrática entre el radio menor α y radio mayor β , $F1$ y $F2$ son los centroides de la

4 Algoritmo semiautomático para inventarios forestales

elipse cuyas coordenadas son $[F1_x; F1_y]$ y $[F2_x; F2_y]$ respectivamente, $D1$ y $D2$ son las distancia del punto Q a los centroides $F1$ y $F2$.

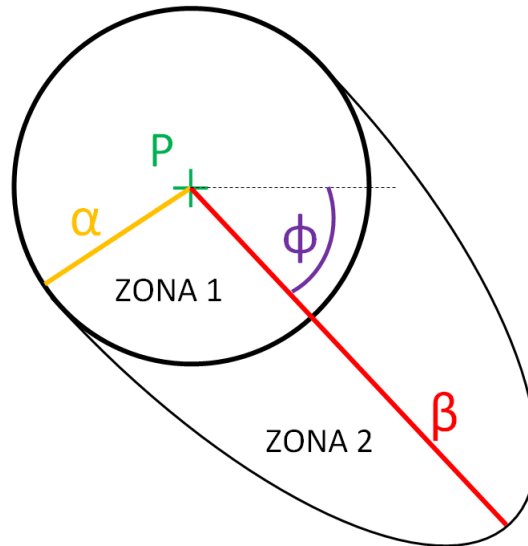


Figura 1: Gráfico del modelo matemático implementado. P : Punto central, α : Radio menor, β : Radio mayor, ϕ : Ángulo de la Elipse

Una vez generado el modelo geométrico, se definieron dos valores umbrales de intensidad. Para la *ZONA 1* se obtuvo γ como el valor de mínima intensidad para ser considerado parte de la copa luego de analizar histogramas y realizar varios ensayos. De la misma manera, se obtuvo η para la *ZONA 2* como el valor de máxima intensidad para ser considerado parte de la sombra. De esta manera quedó determinado un conjunto de pixeles brillantes Ψ dentro de la *ZONA 1* tal que:

$$Q \in \Psi \begin{cases} Q \in \text{ZONA 1} \\ intensidad(Q) > \gamma \end{cases} \quad (10)$$

De la misma manera, se determinó a A como un conjunto de pixeles opacos dentro de la *ZONA 2* tal que:

$$Q \in A \begin{cases} Q \in \text{ZONA 2} \\ intensidad(Q) < \eta \end{cases} \quad (11)$$

A partir de estos conjuntos, se pudo definir para cada punto $P = [P_x; P_y]$ un valor de probabilidad Γ tal que:

$$\Gamma = \left(\frac{pixels_{\Psi}}{pixels_{Z1}} \right) \left(\frac{pixels_{\Lambda}}{pixels_{Z2}} \right) \quad (12)$$

$$0 < \Gamma < 1 \quad (13)$$

De esta manera, podemos decir que para valores de Γ cercanos a 1, se puede presumir que hay un árbol en el punto P analizado. De lo contrario, para valores de Γ cercanos a 0, se puede decir que es muy poco probable que halla un árbol en dicha zona.

2.3. Mapa transformado

Para analizar la imagen, se procedió a calcular la probabilidad $\Gamma(P)$ para cada par $[P_x; P_y]$. De esta manera, se generó una imagen que nos permitió observar como variaba $\Gamma(P)$. Se observó que para centros P en donde la probabilidad $\Gamma(P)$ era alta, $intensidad(P) > \gamma$. Por lo que para la generación del mapa, se tomaron únicamente los puntos que cumplían con esta característica.

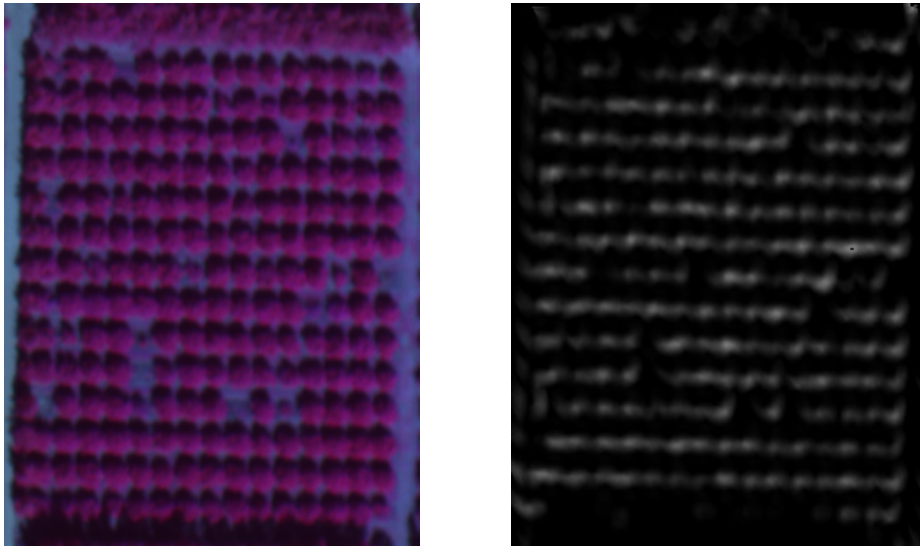


Figura 2: Generación del espacio transformado. Izquierda: imagen original (RGB:IR-Rojo-Verde). Derecha: Espacio transformado donde los píxeles más brillantes son aquellos con mayor probabilidad de ser el punto central de la copa de un árbol.

2.4. Detección y localización

Una vez conseguido el mapa transformado, se realizaron una serie de iteraciones para determinar su localización. Cada iteración constó de los siguientes pasos:

1. Detectar los puntos P de máxima probabilidad Γ .

$$P = \max(\Gamma) \quad (14)$$

Determinando dicho punto $[P_x; P_y]$ como el centro de un árbol, es almacenado.

2. Para todo punto cercano a P , se redujo Γ a 0. Para evitar la doble detección de un árbol.

Estas iteraciones, se realizaron hasta que:

$$\max(\Gamma) < \xi \quad (15)$$

Siendo ξ el umbral mínimo de Γ para considerar un árbol verdadero. Todos los puntos P encontrados son almacenados, permitiendo determinar cuántos árboles se encontraron, y cual es su ubicación.

Se realizaron dos barridos con dos pares de valores $[\alpha; \beta]$ distintos, lo que nos permitió diferenciar dos tamaños de árboles.

2.5. Cortinas forestales

En la imagen, también existen algunas zonas de gran vegetación que se desean descartar, ya que en ciertos puntos pueden presentar características similares a los árboles de interés y no deberían formar parte del registro. Para suprimir esas zonas, se procedió a analizar la banda verde de la imagen. La zona de cortinas forestales se destaca en esta banda por su gran porción de sombra ininterrumpida. La información de esta banda se convirtió en información binaria a través de un umbral para que permitió separar únicamente las zonas de sombra. A través de erosiones y dilataciones sucesivas se pudo discriminar únicamente las sombras de las cortinas forestales. Una vez determinada dicha zona, se eliminaron los valores de Γ correspondientes en el mapa transformado previo al análisis de detección y localización. Evitando de esta manera, gran cantidad de falsos positivos.

2.6. Validación

En cada una de las imágenes se determinó la cantidad de árboles mediante interpretación visual. Considerando estos resultados como referencia se calcularon los errores que presenta el algoritmo en cada imagen. Se consideró error por omisión a cada árbol que fue contado a mano, pero omitidos por el algoritmo. En tanto un error por comisión es aquel falso árbol detectado por el algoritmo que no fue considerado un árbol por el conteo manual.

2.7. Software utilizado

Para implementar el modelo matemático explicado anteriormente se desarrolló una software llamado Sistema de Inventarios en Plantaciones Forestales (SIPF). El SIPF es un desarrollo local basado exclusivamente en software libre (entorno Qt, lenguaje C++, librerías OpenCV).

3. Resultados

En las figura 3 se pueden ver los resultados obtenidos por el algoritmo. En la misma se puede visualizar los árboles grandes (primer barrido) en rojo y los árboles más pequeños (segundo barrido) en verde.

3.1. Errores

Cuadro 1: Tabla de resultados

Caso	manual	algoritmo	omission	comission	exactitud
1	1711	1715	32	36	99,8 %
2	1493	1464	40	11	98,1 %
3	1438	1436	26	24	99,8 %
4	854	853	17	16	99,9 %
5	935	865	80	10	92,5 %

Los errores que presenta el algoritmo, son tanto por omisión y por comisión. Los de omisión son en su mayoría casos en los que hay árboles pequeños, que se diferenciaron no solo por sus parámetros radiales, sino que también presentaron menor intensidad infrarroja por no poseer tanta vegetación; de esta manera, sus valores de intensidad no pudieron superar el umbral y no fueron detectados. En otros casos, hay cortinas forestales que por el ángulo en que la fotografía fue tomada, taparon la sombra de árboles y estos tampoco pudieron ser detectados. Los errores por comisión, se deben principalmente a zonas vegetativas que fueron detectados por poseer características similares a los árboles que se desean detectar.

4. Conclusiones

El algoritmo propuesto en este artículo resultó ser eficiente para el conteo de árboles en plantaciones. El modelo matemático permitió adaptarse correctamente a la figura de un árbol sin la necesidad de definir gran cantidad de parámetros. Es importante destacar que SIPF es un desarrollo local orientado a este tipo de plantaciones forestales, sin embargo es posible alterar sus parámetros de funcionamiento para su utilización en otro tipo de escenarios. Como trabajo a futuro

8 Algoritmo semiautomático para inventarios forestales

se pueden considerar vincular los tamaños de las copas y de las sombras con parámetros morfométricos de los árboles con el fin de brindar estimaciones de la producción.

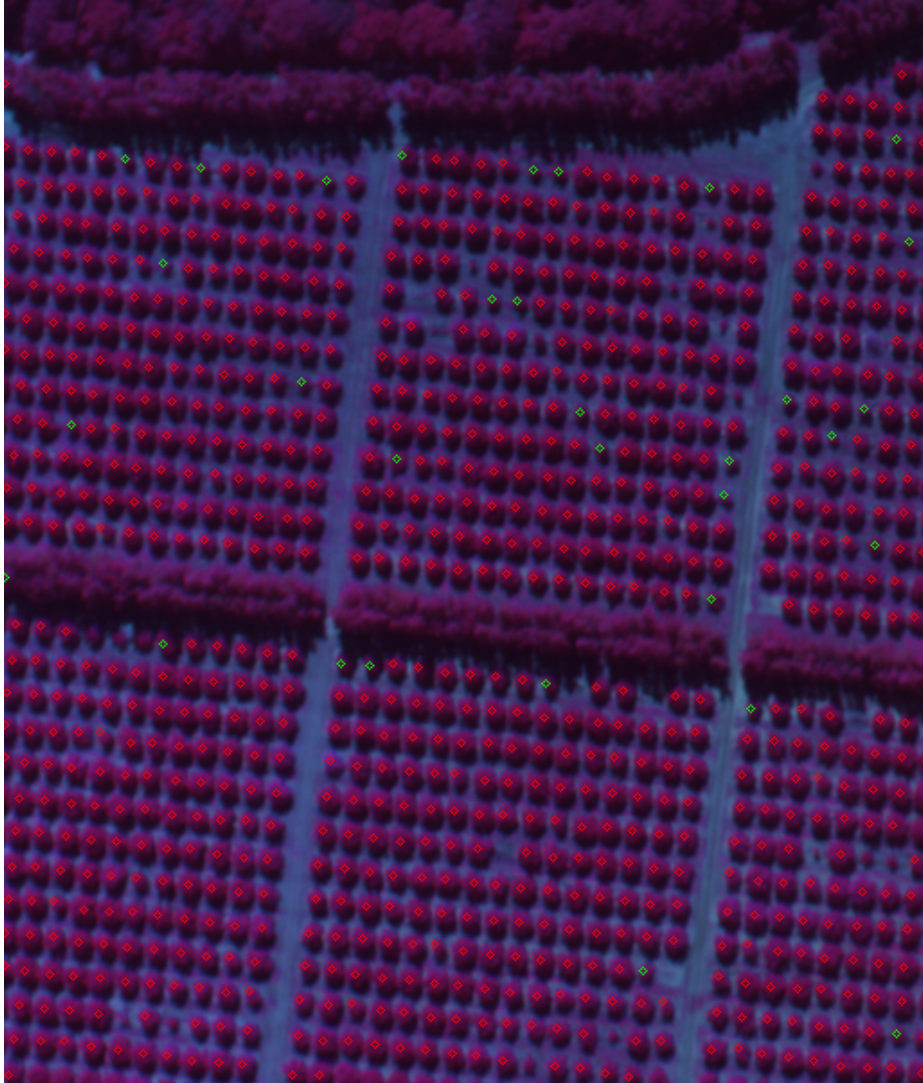


Figura 3: Imagen ejemplo con resultados. Árboles tamaño estandar indicados en rojo, árboles pequeños en verde

Referencias

1. Andhra Pradesh “Forest Department Hyderabad: Field Manual For Forest Inventory”
2. CAITE, Turrialba, “Costa Rica 2002: Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central”
3. Forestry Commission: “National Forest Inventory of Great Britain Survey Manual”
4. Guatemala 2004: “Inventario Forestal Nacional, Manual De Campo Modelo”
5. Julia P. Ardila, Wietske Bijer, Valentyn A. Tolpkin Stein, Alfred Stein: “Quantification of crown change uncertainty of trees in an urban environment”
6. Robin Engler, Lars T. Wasler, Niklaus E. Zimmermann, Marcus Schaub, Savvas Berdos, Christian Ginzler, Achilleas Psomas: “Combining ensemble modeling and remote sensing for mapping individual tree species at high spatial resolution”
7. Linhai Jing, Baoxin Hu, Thomas Noland, Jili Li: “An individual tree crown delineation method based on multy-scale segmentation of imagery
8. Perrin G., Descombes X., Zerubia G. : “Point Processes in Forestry: an Application to Tree Crown Detection”. Rapport de Recherche 5544, INRIA. 2005
9. Le Wang, Peng Gong, and Gregory S. Biging: “Individual Tree-Crown Delineation and Treetop Detection in High-Spatial-Resolution Aerial Imagery
10. Wulder M., Niemann K., Goodenough D. : “Local Maximum Filtering for the Extraction of Tree Locations and Basal Area from High Spatial Resolution Imagery”.
11. Michele Dalponte, Hans Ole Orka, Liviu Theodor Ene, Terje Gobakken, Erik Naeset: “Tree crown delineation and tree species classification in boreal forests using hiperspectral and ALS data”
12. Guillaume Perrin, Xavier Descombes, Josiane Zerubia: “A nonbayesian model for tree crown extraction using marked point processes”
13. Pouliot D., King D., Bell F., Pitt D. “Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration”. Remote sensing of environment, vol.82, pp. 322- 334. 2003
14. Eriksson M., Perrin G., Descombes X., Zerubia J. : “A comparative study of three methods for identifying individual tree crowns in aerial images covering different types of forests”. In Proc. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), France
15. L.I. Duncanson, B.D. Cook, G.C. Hurtt , R.O. Dubayaha: “An efficient, multi-layered crown delineation algorithm for mapping individual tree structure across multiple ecosystems”