

La segmentación de instancias, no la semántica, limita la detección de árboles individuales en nubes de puntos ULS densas

Arturo Cantú Olivares, Diego Sebastian Cruz Cervantes*, Luis Fernando Maldonado, Jesús Gabriel Gudiño Lara, Daniel Cantón Enriquez

Resumen—La segmentación automatizada de árboles individuales (ITS) en nubes de puntos de escaneo láser de UAV (ULS) de alta densidad es fundamental para los inventarios forestales escalables, pero la contribución relativa del preprocesamiento semántico y la segmentación de instancias al error de ITS de extremo a extremo rara vez se aísla experimentalmente. Presentamos una comparación factorial controlada (diseño de 3×2) de tres estrategias de preprocesamiento (sin preprocesamiento, Random Forest (RF) en características geométricas y agrupamiento multiescala (MSG) de PointNet++) combinadas con dos variantes de un segmentador volumétrico interpretable Watershed 3D (siembra CHM clásica y una nueva siembra basada en densidad), calibradas independientemente por pipeline y evaluadas en el benchmark FOR-instance V1 en cinco tipos de bosques. A pesar de una calidad semántica casi perfecta ($\text{tree IoU} > 0,97$ para ambos clasificadores), la instancia F1 alcanza un pico de 0,209, lo que revela una fuerte disociación entre la calidad semántica y el rendimiento a nivel de instancia: la principal fuente de error surge de la separación de instancias en lugar del preprocesamiento semántico. Dentro de las configuraciones evaluadas, RF con características geométricas supera a PointNet++ MSG en todas las combinaciones de pipeline sin requerir una GPU, y la siembra basada en densidad mejora consistentemente sobre CHM (+47 % para RF, +74 % para PointNet++), particularmente en doseles densos de altura uniforme donde CHM es casi plano. Estos hallazgos son específicos de condiciones ULS densas, donde la densidad extrema de puntos y la continuidad del dosel amplifican la complejidad geométrica de la separación de árboles individuales.

Palabras clave—Segmentación de instancias, semántica, detección de árboles individuales, nubes de puntos ULS densas.

Instance Segmentation, Not Semantics, Limits Individual Tree Detection in Dense ULS Point Clouds

Abstract—Automated individual tree segmentation (ITS) in high-density UAV laser scanning (ULS) point clouds is critical for scalable forest inventories, yet the relative contribution of semantic preprocessing and instance segmentation to end-to-end ITS error is rarely isolated experimentally. We present a controlled factorial comparison (3×2 design) of three preprocessing strategies —no preprocessing, Random Forest (RF)

Manuscript received on 12/02/2026, accepted for publication on 11/04/2026. Corresponding author is Diego Sebastian Cruz Cervantes (dcruz54@alumnos.uaq.mx).

The authors are with Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Querétaro, México.