



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

SIBIFOR vs INF: COMPARACIONES INFORMADAS DE MODELOS DE CUBICACIÓN PARA PROGRAMAS DE MANEJO EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

ALMA ZULEIMA SANTOS DE JESÚS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “**SiBiFor vs INF: Comparaciones informadas de modelos de cubicación para programas de manejo en la Sierra Norte de Puebla**” realizada por la estudiante: “**Alma Zuleima Santos De Jesús**” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)


Dr. Héctor Manuel De los Santos Posadas

ASESOR (A)


Dr. José René Valdez Lazalde

ASESOR (A)


Dr. Benedicto Vargas Larreta

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, febrero de 2023

**SIBIFOR vs INF: COMPARACIONES INFORMADAS DE MODELOS DE
CUBICACIÓN PARA PROGRAMAS DE MANEJO EN LA SIERRA NORTE DE
PUEBLA**

Alma Zuleima Santos de Jesús, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

RESUMEN

La toma de decisiones para un manejo forestal maderable sostenible requiere de la estimación precisa de las existencias volumétricas. Para ello se utilizan modelos biométricos de volumen rollo total árbol (V_{RTA}) y volumen total árbol (V_{TA}). En el año 2017 se desarrolló en México el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) para tal propósito, (conjuntando más de 6 000 nuevas ecuaciones *ad hoc* para las especies y regiones forestales más importantes del país). Sin embargo, actualmente en algunos estados como Puebla y Veracruz estos modelos no son aceptados para estimar los inventarios forestales y continúan utilizando modelos V_{RTA} , para grupos de especies, generados como parte del Inventario Nacional Forestal hace más de 40 años. El objetivo de la presente tesis de investigación fue realizar una comparación de las estimaciones de volumen maderable obtenidas mediante las ecuaciones contenidas en el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor, 2017) y del Inventario Nacional Forestal (INF, 1978). Se utilizaron datos de doce especies provenientes de programas de manejo maderables vigentes de la UMAFOR 2108 para estimar el V_{RTA} y V_{TA} de manera regional, por género y para las especies más abundantes (*Pinus patula* y *P. teocote*). Mediante estimadores de muestreo simple al azar (MSA) y muestreo estratificado (ME) se obtuvieron los intervalos de confianza para ambos sistemas biométricos. No se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores estimados de V_{RTA} por ambos sistemas. Sin embargo, para el V_{TA} el INF calcula un volumen significativamente mayor debido a que el volumen que aportan las ramas lo calcula como porcentaje adicional de V_{RTA} (20 % para *Pinus*, 25 % para *Abies* y 30 % para *Quercus* y otras hojosas) lo que conlleva a una estimación mayor de V_{TA} . De acuerdo a lo anterior, los programas de manejo forestal maderable que utilizan los modelos biométricos del INF (1978) sobrestiman el V_{TA} y, en consecuencia, la posibilidad calculada y autorizada.

Palabras clave: Muestreo estratificado, muestreo simple al azar, prueba t pareada, UMAFOR 2108.

SiBiFor vs INF: INFORMED COMPARISON OF TREE-VOLUME MODELS FOR MANAGEMENT PLANS IN SIERRA NORTE, PUEBLA

Alma Zuleima Santos de Jesús, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

ABSTRACT

Decision making for sustainable timber forest management requires accurate estimation of volumetric stocks. For this, biometric models of total tree roll volume (V_{RTA}) and total tree volume (V_{TA}) are used. In 2017, the Forest Biometric System (SiBiFor) was developed in Mexico for this purpose, (combining more than 6,000 new *ad hoc* equations for the most important forest species and regions in the country). However, currently in some states such as Puebla and Veracruz these models are not accepted to estimate forest inventories and they continue to use V_{RTA} models, for groups of species, generated as part of the National Forest Inventory more than 40 years ago. The objective of this research thesis was to compare the estimates of timber volume obtained through the equations contained in the Forest Biometric System (SiBiFor, 2017) and the National Forest Inventory (INF, 1978). Data from twelve species from current UMAFOR 2108 timber management programs were used to estimate the V_{RTA} and V_{TA} regionally, by genus and for the most abundant species (*Pinus patula* and *P. teocote*). Confidence intervals for both biometric systems were obtained using simple random sampling (SRS) and statistical sampling (SS) estimators. No statistically significant differences between the estimated values of V_{RTA} by both systems. However, for the V_{TA} , the INF calculates a significantly higher volume because the volume contributed by the branches is calculated as an additional percentage of V_{RTA} (20% for *Pinus*, 25% for *Abies* and 30% for *Quercus* and other broadleaves), which leads to a higher estimate of V_{TA} . According to the above, the timber forest management programs that use the INF biometric models (1978) overestimate the V_{TA} and, consequently, the calculated and authorized possibility.

Palabras clave: paired t test, simple random sampling, stratified sampling, UMAFOR 2108.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Colegio de Postgraduados campus Monntecillo y al Posgrado en Ciencias Forestales por la oportunidad de ser becaria y alumna.

Un gran agradecimiento al Dr. Héctor Manuel De los Santos Posadas por su apoyo, consejos y por la experiencia compartida, que han ayudado a mi formación y con ello lograr este proyecto.

Agradezco al Dr. José René Valdez Lazalde y al Dr. Benedicto Vargas Larreta por sus recomendaciones y apoyo para la realización de este proyecto.

Al M.C. José Pastor Parra Piedra, por haberme animado a continuar en este camino.

Al Ing. Manuel Morales Martínez por el permiso de acceder a datos de inventarios que fueron indispensables en este proyecto.

A mi familia que ha estado al pendiente de mi apoyándome, aconsejándome y sobre todo por todo el amor brindado.

A mis amigos que han estado desde que inicié con este proyecto y a los que me encontré en el camino.

DEDICATORIA

A mis padres Delfino Santos y Salustria De Jesús, que día a día con sus palabras de amor, su apoyo incondicional y confianza me han alentado a seguir en este camino...

A mis hermanos Carol Andrea y Sammuel que en cada momento me inspiran y alegran mis días...

Y a toda mi familia y amigos.

Por cuanto en mi ha puesto su amor, yo también lo libraré.
Salmos 91:14

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 1 SIBIFOR vs INF: COMPARACIONES INFORMADAS DE MODELOS DE CUBICACIÓN PARA PLANES DE MANEJO EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA	4
1.1 RESUMEN.....	4
1.2 ABSTRACT	5
1.3 INTRODUCCIÓN	6
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	8
1.4.1 Área de estudio	8
1.4.2 Bases de datos	8
1.4.3 Generación de pares diámetro-altura	9
1.4.4 Análisis estadístico.....	14

1.4.5	Proporción de ramas maderables	14
1.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
1.6	CONCLUSIONES	27
CAPÍTULO 2 ESTIMADORES DE MUESTREO PARA INVENTARIO FORESTAL		
SiBiFor vs INF	29
2.1	RESUMEN.....	29
2.2	ABSTRACT	30
2.3	INTRODUCCIÓN	31
2.4	MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.4.1	Área de estudio	33
2.4.2	Datos dasométricos	33
2.4.3	Muestreo Simple al Azar (MSA)	36
2.4.4	Muestreo Estratificado (ME)	36
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
2.5.1	Volumen total V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial.....	38
2.5.2	Volumen por género V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial.....	42
2.5.3	Volumen por especies más representativas (<i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i>) V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial.....	56
2.6	CONCLUSIONES	63
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES		65
LITERATURA CITADA		67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Parámetros α y β del modelo de Schumacher de las especies estudiadas.....	10
Cuadro 1.2. Parámetros INF del estado de Puebla (1978).....	12
Cuadro 1.3. Parámetros de los modelos SiBiFor por especie de la UMAFOR 2108.....	13
Cuadro 1.4. Resumen de 100 estimaciones (eventos) para el V_{RTA} y V_{TA} en la población simulada de <i>Pinus patula</i>	16
Cuadro 1.5. Resumen de 100 estimaciones (eventos) para V_{RTA} y V_{TA} en <i>Pinus patula</i> población re-muestreada.	18
Cuadro 1.6. Resumen de los 100 eventos para el V_{RTA} y V_{TA} en <i>Abies religiosa</i>	20
Cuadro 1.7. Resumen de los 100 eventos para el V_{RTA} y V_{TA} en <i>Abies religiosa</i>	21
Cuadro 1.8. Resumen de los 100 eventos con los datos simulados para el V_{RTA} de las 7 especies restantes.	22
Cuadro 1.9. Resumen de los 100 eventos con los datos simulados para el V_{TA} de las 7 especies restantes.	23
Cuadro 1.10. Resumen de los 100 eventos con los datos de re-muestreo para el V_{RTA} de las 7 especies restantes.	25
Cuadro 1.11. Resumen de los 100 eventos con los datos de re-muestreo para el V_{TA} de las 7 especies restantes.	26
Cuadro 2.1. Superficie de los predios.....	33
Cuadro 2.2. Parámetros INF del estado de Puebla (1978).....	34
Cuadro 2.3. Parámetros de los modelos SiBiFor por especie de la UMAFOR 2108.....	35
Cuadro 2.4. Estimadores de muestreo MSA.....	36
Cuadro 2.5. Estimadores de muestreo ME.	37

Cuadro 2.6. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.....	40
Cuadro 2.7. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.....	41
Cuadro 2.8. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{TA} estimados por ha a nivel predial.	41
Cuadro 2.9. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{TA} estimados por ha a nivel predial.	42
Cuadro 2.10. Inventario en m^3 por ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados.	42
Cuadro 2.11. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.....	45
Cuadro 2.12. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.....	47
Cuadro 2.13. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{TA} estimados por ha a nivel predial.....	52
Cuadro 2.14. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{TA} estimados por ha a nivel predial.....	54
Cuadro 2.15. Inventario en m^3 con MSA para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados por género.	56
Cuadro 2.16. Inventario en m^3 con ME para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados por género.	56

Cuadro 2.17. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i> V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.	59
Cuadro 2.18. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i> V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.	60
Cuadro 2.19. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i> V_{TA} estimados por ha a nivel predial.	61
Cuadro 2.20. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i> V_{TA} estimados por ha a nivel predial.	62
Cuadro 2.21. Inventario en m^3 con MSA para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados para las especies <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i>	63
Cuadro 2.22. Inventario en m^3 con ME para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados para las especies <i>Pinus patula</i> y <i>P. teocote</i>	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Gráficas de dispersión de las nueve especies estudiadas. Se muestra la tendencia de la curva con el modelo diámetro normal-altura total adaptado de Schumacher.	10
Figura 1.2. Poblaciones de las especies de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus patula</i> y su re-muestreo.	11
Figura 1.3. Inventarios para V_{RTA} y V_{TA} para población simulada tamaño 100.....	15
Figura 1.4. Inventarios para V_{RTA} y V_{TA} para población re-muestreada tamaño 100.	18
Figura 1.5. Inventarios para volumen V_{RTA} y V_{TA} para población simulada tamaño 100.....	19
Figura 1.6. Inventarios para volumen V_{RTA} y V_{TA} para población re-muestreada tamaño 100.	20
Figura 2.1. Comparación gráfica de los IC del volumen total por ha para V_{RTA} con MSA y ME a nivel regional.....	39
Figura 2.2. Comparación gráfica de los IC del volumen total por ha para V_{TA} con MSA y ME a nivel regional.....	40
Figura 2.3. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para <i>Abies</i> con MSA y ME a nivel regional.....	43
Figura 2.4. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para <i>Pinus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	43
Figura 2.5. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para <i>Quercus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	44
Figura 2.6. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para <i>Arbutus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	44

Figura 2.7. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para <i>Abies</i> con MSA y ME a nivel regional.....	49
Figura 2.8. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para <i>Pinus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	50
Figura 2.9. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para <i>Quercus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	50
Figura 2.10. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para <i>Arbutus</i> con MSA y ME a nivel regional.....	51
Figura 2.11. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} , para <i>Pinus patula</i> con MSA y ME a nivel regional.....	57
Figura 2.12. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} , para <i>Pinus teocote</i> con MSA y ME a nivel regional.....	57
Figura 2.13. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} , para <i>Pinus patula</i> con MSA y ME a nivel regional.....	58
Figura 2.14. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} , para <i>Pinus teocote</i> con MSA y ME a nivel regional.....	58

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente un tercio de la superficie total del territorio nacional mexicano (65 millones de ha) son ecosistemas forestales, de las cuales el 51 % es bosque templado y 49 % bosque tropical (Torres-Rojo *et al.*, 2016). En el 2018 a nivel nacional se tenía una superficie de 6,078,986 ha con aprovechamiento forestal maderable con un volumen autorizado de 141,884,762 m³ V_{TA} (Volumen Total Árbol) (SEMARNAT, 2021).

El estado de Puebla se encuentra entre los 10 estados con mayor producción maderable del país con 1,574 autorizaciones, 59,870 ha de superficie bajo manejo forestal maderable y un V_{TA} de 4,257,714 m³ (SEMARNAT, 2021). La zona de producción forestal más importante del estado se ubica en la Sierra Norte, y corresponde a la UMAFOR 2108 (incluye de forma parcial o total los municipios de Ahuazotepec, Aquixtla, Chignahuapan, Huauchinango, Ixtacamaxtitlán, Tetela de Ocampo y Zacatlán), los que abarcan 7.6 % del territorio estatal, con un tipo de vegetación que barca bosques templados húmedos y subhúmedos (Barrón, 2021).

La toma de decisiones para el manejo sostenible de los recursos forestales maderables requiere de la estimación precisa de las existencias volumétricas. Para ello se utilizan modelos biométricos de volumen rollo total árbol (V_{RTA}) y volumen total árbol (V_{TA}). En el año 2017 se desarrolló en México el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) para tal propósito, conjuntando más de 6000 ecuaciones *ad hoc* para las especies y regiones forestales más importantes del país (Vargas-Larreta *et al.*, 2017). Sin embargo, actualmente en algunos estados como Puebla y Veracruz estos modelos no son aceptados para estimar los inventarios forestales y continúan utilizando modelos V_{RTA}, para grupos de especies, generados hace 40 años (INF, 1978).

Como parte del Inventario Nacional Forestal en 1978 se publicó el Inventario Forestal del estado de Puebla (SARH, 1978), mismo que reportó tablas de volumen de fuste total y fuste limpio para especies agrupadas por características botánicas. Estos modelos no estiman el volumen de las ramas de los árboles a pesar de que, se debe calcular y reportar el volumen total del árbol para fines de planeación de gestión maderable (NOM-152-SEMARNAT-2006). Para subsanar la deficiencia desde entonces y hasta la fecha, los prestadores de servicios técnicos adicionan al V_{RTA} un porcentaje por concepto de ramas a razón de 20 % para *Pinus*, 25 % para *Abies* y el 30 % para *Quercus* y otras hojosas para obtener el V_{TA} .

Durante la revisión de programas de manejo forestal maderable pendiente de autorización, el Consejo Forestal Estatal de Puebla argumentó diferencias sustantivas entre los volúmenes estimados con los modelos SiBiFor y los tradicionalmente usados del INF. La decisión de los consejeros estatales fue que para el cálculo de las existencias (inventario) de los programas de manejo se deben utilizar exclusivamente los modelos del INF (1978). El argumento se resume a continuación:

“los programas de manejo donde se utilizan los modelos biométricos para la planeación del manejo forestal sustentable para los ecosistemas con potencial maderable de México, particularmente para la UMAFOR 2108 Chignahuapan-Zacatlán, resultando que dichos modelos biométricos presumiblemente subestiman el porcentaje de ramaje, a la fecha dichos modelos continúan en proceso de validación y autorización” (SEMARNAT, 2018).

Ante la disyuntiva de uso entre los dos sistemas biométricos disponibles para elaborar los inventarios forestales con fines de manejo maderable, la presente investigación tuvo como propósito realizar un análisis comparativo, utilizando criterios estadísticos, para develar las posibles diferencias entre ambos sistemas y contribuir al análisis de las implicaciones de utilizar

uno u otro conjunto de modelos. Específicamente, se plantearon los objetivos que se enuncian en el apartado siguiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar el inventario maderable estimado, mediante los modelos del Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) 2017 y el Inventario Nacional Forestal (INF) 1978, para programas de manejo forestal maderable vigentes en predios de la UMAFOR 2108 Chignahuapan-Zacatlán.

Objetivos específicos

1. Calcular el volumen rollo total árbol (V_{RTA}) y el volumen total árbol (V_{TA}) de las bases de datos de los predios con los modelos INF (1978) y SiBiFor (2017) para su comparación.
2. Estimar, mediante muestreo simple al azar (MSA) y muestreo estratificado (ME), el inventario maderable por especie, predio y regional para conocer las implicaciones asociadas a utilizar el INF y el SiBiFor.

Los resultados del análisis realizado para dar cumplimiento a los objetivos específicos antes mencionados se presentan en sendos capítulos en formato de artículo científico.

**CAPÍTULO 1 SIBIFOR vs INF: COMPARACIONES INFORMADAS DE
MODELOS DE CUBICACIÓN PARA PLANES DE MANEJO EN LA SIERRA
NORTE DE PUEBLA**

1.1 RESUMEN

Los inventarios forestales maderables, requieren modelos alométricos confiables y de escala local. La definición de estos modelos afecta los resultados del inventario y puede alterar la correcta valoración de las masas forestales. Actualmente, existe un debate en el estado de Puebla, sobre el uso de dos alternativas de modelos alométricos para estimar el volumen de madera de árboles individuales, elemento esencial para la elaboración de programas de manejo forestal maderable: modelos generados en la década de los 70 o modelos generados en 2017 en el marco del proyecto Sistema Biométrico Forestal de México (SiBiFor). Los nuevos modelos no han sido aceptados por prestadores de servicios técnicos, ni por la autoridad encargada de autorizar los programas de manejo, argumentando, que dichos modelos subestiman de manera importante el volumen de ramas. La exclusión de los modelos SiBiFor resultó del análisis de discrepancias encontradas en dos propuestas de manejo forestal. Así, la autoridad competente, decidió que se deben seguir utilizando los modelos de volumen rollo total árbol generados por la oficina del Inventario Nacional Forestal (INF, 1978) y el volumen de las ramas se debe calcular como una fracción del primero a razón de 20 % en coníferas y 30 % en encinos.

Ante la disyuntiva de elegir entre los dos sistemas biométricos, este trabajo reporta una comparación informada entre las estimaciones de los modelos del SiBiFor y los modelos antiguos del INF. Se utilizaron bases de datos de campo y poblaciones artificiales de doce especies aprovechadas (géneros: *Abies*, *Pinus* y *Quercus*) en la Unidad de Manejo Forestal 2108 (región Chignahuapan-Zacatlán) para simular y comparar, mediante una prueba t pareada, los volúmenes rollo total (V_{RTA}) y volumen total (V_{TA}) estimados por ambos modelos. Las diferencias encontradas en V_{RTA} en entre ambos modelos son mínimas, estadísticamente no significativas, dando pauta a que ambos modelos calculan el V_{RTA} de manera similar. Lo contrario sucedió para el V_{TA} ; encontrando las mayores diferencias en *Pinus pseudostrobus*, *P. teocotes*, *Quercus laurina* y *Q. rugosa*, con sobrestimaciones en el volumen de ramas (V_{ram}); por el INF en los datos simulados, para el re-muestreo, de hasta el 27 % para *Pinus teocote*. Para las especies más abundantes de la UMAFOR 2108, los modelos SiBiFor sugieren que el V_{ram} está en promedio entre el 6 y 10 % del V_{TA} . Lo anterior implica que muchos programas de manejo sobrestiman el V_{TA} y en consecuencia la posibilidad calculada y autorizada.

Palabras claves: *Abies*, *Pinus*, prueba t pareada, *Quercus*, UMAFOR 2108.

SiBiFor vs INF: INFORMED COMPARISON OF TREE-VOLUME MODELS FOR MANAGEMENT PLANS IN SIERRA NORTE OF, PUEBLA

1.2 ABSTRACT

Timber forest inventories require reliable allometric models at a local scale. The definition of these models affects the results of the inventory and can alter the correct valuation of the forest stands. Currently, there is a debate in the state of Puebla about the use of two alternatives of allometric models to estimate timber volume for individual trees, an essential element for timber forest management plans: models generated in the 1970s or models generated in 2017 as part of the project Forest Biometric System of Mexico (SiBiFor). The new models have not been accepted by local foresters, nor by the forest authority in charge of authorizing management plans, arguing that these models significantly underestimate tree branch volume. The exclusion of the SiBiFor models resulted from the analysis of discrepancies found in two forest management proposals. Thus, the forest authority decided that the tree bole volume models generated by the National Forest Inventory Office (INF, 1978) should continue to be used and branch volume should be calculated as a fraction of the tree bole volume assuming 20 % in conifers and 30% in oaks and broadleaves.

Faced with the dilemma of choosing between the two biometric systems, this paper reports an informed comparison between the estimates of the SiBiFor models and the old INF models. Field databases and artificial populations of twelve harvested species (genera: *Abies*, *Pinus* and *Quercus*) in Forest Management Unit 2108 (Chignahuapan-Zacatlán region) were used to simulate and compare, through a paired t test, the bole volumes (V_{RTA}) and total volume (V_{TA}) estimated by both models. The differences found in V_{RTA} between both models are minimal, most of them statistically not significant, indicating that both models calculate the V_{RTA} in a similar way. The opposite happened for the V_{TA} ; finding the greatest differences in *Pinus pseudostrabus*, *P. teocotes*, *Quercus laurina* and *Q. rugosa*, with overestimations in the estimated branch volume (V_{ram}) by the INF in the simulated data, for resampling, of up to 27 % for *Pinus teocote*. For the most abundant species in UMAFOR 2108, the SiBiFor models suggest that the V_{ram} is on average between 6 and 10 % of the V_{TA} . This implies that many management plans overestimate the V_{TA} and consequently the calculated and authorized possibility.

Keywords: *Abies*, paired t-test, *Pinus*, *Quercus*, UMAFOR 2108.

1.3 INTRODUCCIÓN

La estimación del volumen fustal total y comercial de los árboles son aspectos básicos de los inventarios forestales (Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009). Ambos elementos son esenciales en la elaboración de programas de manejo para aprovechamiento maderable (Martínez-Ángel *et al.*, 2019). Por lo tanto, es necesario que los administradores de bosques cuenten con herramientas silvícolas cuantitativas confiables para su estimación de manera más precisa (Santiago-García *et al.*, 2015).

La publicación de modelos de volumen y de crecimiento de variables del bosque inicio en la década de 1970, principalmente en tesis de licenciatura y artículos en revistas científicas, que presentaron las primeras tablas de producción y sistemas de crecimiento basados en modelos de rodal. Posteriormente, en los años 90, inició el desarrollo de sistemas de ecuaciones para estimar volumen comercial a nivel de árbol individual (Vargas-Larreta *et al.*, 2017). No obstante, este tipo de modelos requiere de una constante actualización, validación y calibración que tome en cuenta el efecto de las prácticas silvícolas, que se aplican a los rodales, podrían subestimar o sobrestimar considerablemente el volumen de madera (Vásquez-Bautista *et al.*, 2016).

A principios de la década de 1970, esfuerzos de la Dirección del Inventario Nacional (adscrito a la Subsecretaría Forestal y de la Fauna) y del entonces Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) resultaron en la construcción de modelos de volumen de árboles en pie para aplicación a gran escala (niveles estatal y regional). Este esfuerzo duraría casi 15 años.

En 1978 se publicaron los resultados de inventario del estado de Puebla junto con los modelos construidos para dicho fin (SARH, 1978). El documento contiene tablas de volumen de fuste total y fuste limpio para especies agrupadas por tipo botánicos. Estos modelos no

consideraron el volumen de ramas a pesar de que, para fines de planeación de gestión maderable, se tiene que estimar y reportar el volumen total del árbol.

El proyecto “Sistema Biométrico para la Planeación del Manejo Forestal Sustentable de los Ecosistemas con Potencial Maderable en México [SiBiFor]”, el cual se enmarcado en la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (Enaipros), trató de resarcir las carencias que los modelos del INF tienen cuando se usan con fines de gestión maderable (la ley marca que el volumen se debe de reportar por especies y volumen total árbol) (Santiago-García *et al.*, 2020). Dicho proyecto se concluyó en 2017 con nuevos modelos para estimar volumen total, volumen de ramas, volumen rollo total (fustal) y un sistema de ahusamiento-volumen comercial para la distribución de productos en las especies de mayor relevancia maderable en los 11 estados que se concentran la mayor producción forestal de México. Para cada estado los modelos son de alcance local pues se desarrollaron por Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) (Vargas-Larreta *et al.*, 2017).

Durante décadas, diferentes entidades federativas de México han utilizado ecuaciones (modelos) de carácter regional muy amplio para estimar el volumen de madera para grupos de especies (Cruz-Cobos *et al.*, 2016), por lo que se esperaba que los programas de manejo elaborados después de 2017 utilicen los modelos de carácter local y específico generados por SiBiFor para las especies más importantes. Sin embargo, en los estados de Veracruz y Puebla existe una controversia respecto al uso de los modelos de SiBiFor.

Al analizar programas de manejo, pendientes de autorización, por los consejos estatales se han encontrado discrepancias, que se consideran mayores entre los volúmenes estimados con los modelos SiBiFor y los tradicionalmente usados del INF. En ambos casos los consejeros estatales han decidido que los programas de manejo sigan usando los modelos anteriores.

La SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) menciona en el requerimiento “que los programas de manejo donde se utilizan los modelos biométricos para la planeación del manejo forestal sustentable para los ecosistemas con potencial maderable de México, particularmente para la UMAFOR 2108 Chignahuapan-Zacatlán, resultando que dichos modelos biométricos presumiblemente subestiman el porcentaje de ramaje, a la fecha dichos modelos continúan en proceso de validación y autorización ” (SEMARNAT, 2018).

Con base en lo expuesto anteriormente, el objetivo de la presente investigación fue realizar una comparación entre las estimaciones de volumen generadas por los modelos del Inventario Nacional Forestal (1978) y los modelos Sistema Biométrico Forestal (2017) para evaluar y validar sus resultados, así como discutir sus implicaciones en la estimación del volumen total y fustal, elemento clave para la elaboración de programas de manejo forestal con fines de aprovechamiento maderable.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo Forestal 2108 (región Chignahuapan-Zacatlán), perteneciente a la Sierra Norte de Puebla. Se localiza entre los paralelos 20° 07' 06'' y 19° 44' 18'' de latitud norte y entre los meridianos 97° 57' 18'' y 97° 38' 42'' de longitud oeste colinda al sur con el estado de Tlaxcala y al oeste con el estado de Hidalgo.

1.4.2 Bases de datos

Se conjuntó una base de datos a partir de 12 estudios dasométricos realizados por parte del inventario forestal requerido para la elaboración de programas de manejo forestal maderable.

Todos los programas están actualmente vigentes y suman una superficie total de 3,849 ha, perteneciendo a la UMAFOR 2108. Los datos se colectaron de sitios circulares de 1000 m², a los árboles presentes se les midió el diámetro normal (1.30 m) y la altura total. Con estos datos se implementaron dos métodos de simulación para obtener 100 pares diámetro normal-altura total a los cuales se aplicaron los sistemas biométricos.

1.4.3 Generación de pares diámetro-altura

Método 1. Mediante mínimos cuadrados se determinaron los parámetros para un modelo diámetro-altura tipo Schumacher para cada una de las especies. Inicialmente se utilizaron categorías diamétricas de 10 a 50 cm debido a que los bosques de la región concentran la mayor frecuencia de diámetros en estas categorías por estar en su 3er y 4to ciclo de corta. Sin embargo, debido a la naturaleza de los modelos y a que la dispersión de los datos surge que existen árboles grandes (Figura 1.1) dentro de los predios se ampliaron las categorías de 10 a 90 cm.

$$h = \alpha \cdot \exp(-\beta/dn)$$

Donde: h: altura total (m), α : asíntota, β : tasa de cambio y dn: diámetro normal (cm).

Para añadir variabilidad similar a la observada se añadió al parámetro α y β (Cuadro 1.1) un componente aleatorio para que cada población de tamaño 100 reflejara un patrón similar a la variabilidad natural observada.

Cuadro 1.1. Parámetros α y β del modelo de Schumacher de las especies estudiadas.

Especie	Parámetros	
	α	β
<i>Abies religiosa</i>	33	15
<i>Pinus ayacahuite</i>	37	18
<i>Pinus leiophylla</i>	26	12
<i>Pinus montezumae</i>	31	16
<i>Pinus patula</i>	33	13
<i>Pinus pseudostrobus</i>	20	10
<i>Pinus teocote</i>	24	10
<i>Quercus laurina</i>	21	14
<i>Quercus rugosa</i>	20	14

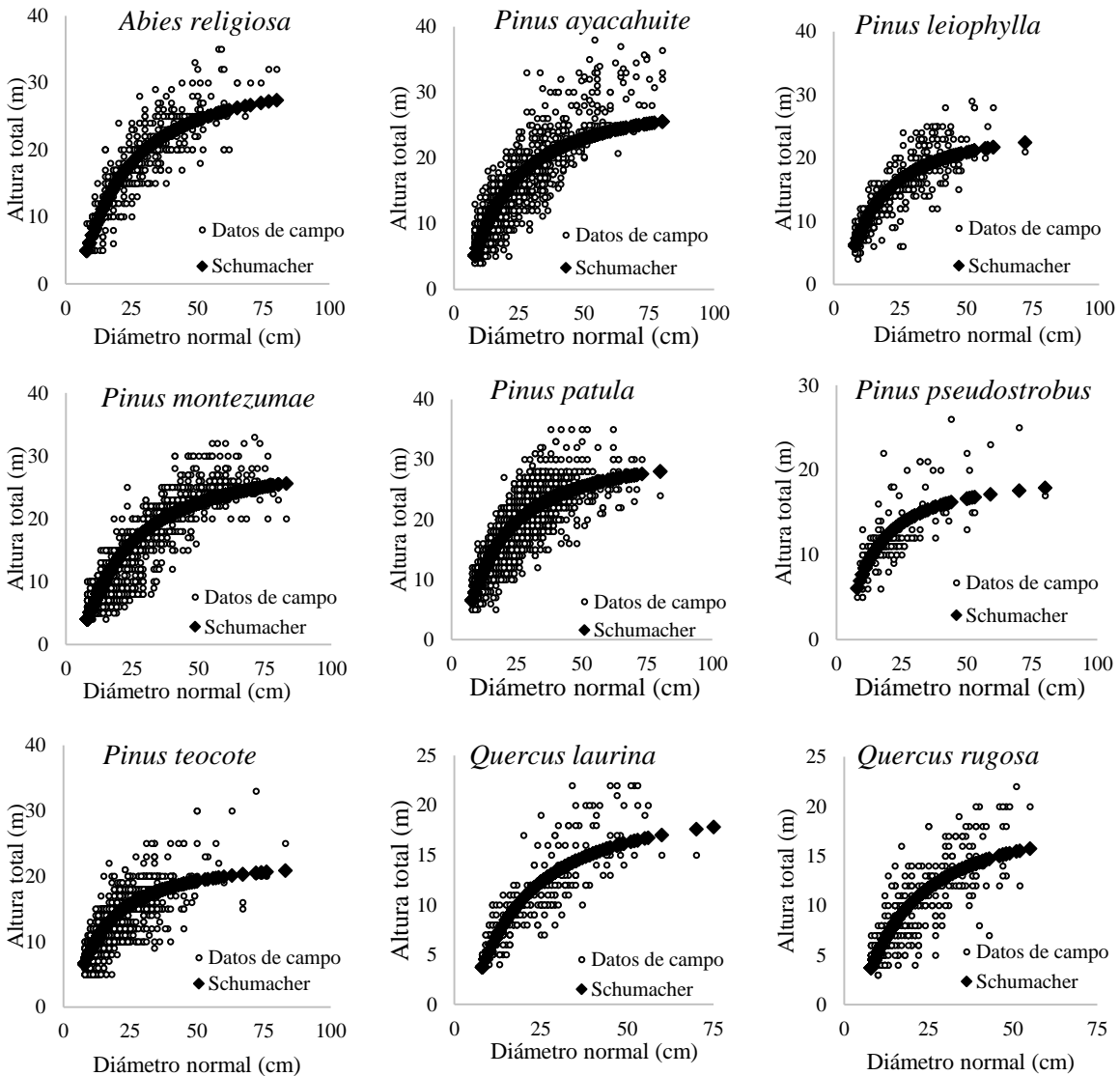


Figura 1.1. Gráficas de dispersión de las nueve especies estudiadas. Se muestra la tendencia de la curva con el modelo diámetro normal-altura total adaptado de Schumacher.

Método 2: A partir de las bases de datos de campo, conformada con información de los 12 estudios dasométricos revisados, se realizó un re-muestreo para obtener una muestra de 100 árboles de cada especie (Figura 1.2).

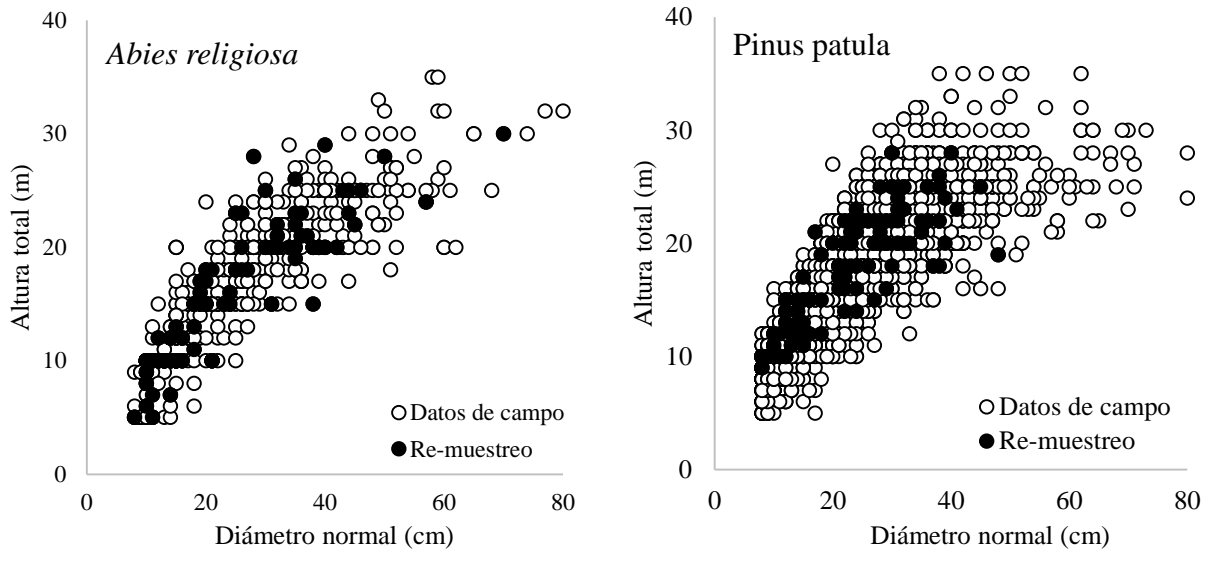


Figura 1.2. Poblaciones de las especies de *Abies religiosa* y *Pinus patula* y su re-muestreo.

Mediante cada uno de los métodos se generaron 100 muestras de tamaño 100, mismas que se utilizaron para el análisis comparativo de las predicciones de los modelos de volumen.

Comparación de los modelos utilizados para estimar volumen: INF (1978) vs SiBiFor

La estructura de los modelos que actualmente se utilizan en la región Chignahuapan-Zacatlán para estimar el volumen maderable se describe en las ecuaciones 1 - 6 para INF (1978) y en las ecuaciones 7 – 9 para SiBiFor (2017). Los parámetros para las especies estudiadas se concentran en los Cuadro 2 y 3 para INF y SiBiFor respectivamente.

Modelo Inventario Nacional Forestal (1978) adaptado para programas de manejo

$$V_{RTA} = \exp[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \ln(D) + \alpha_3 \cdot \ln(H)] \quad (1)$$

$$V_{RTA} = \exp[\alpha_1] \cdot D^{\alpha_2} \cdot H^{\alpha_3} \quad (2)$$

$$V_{VTA} = \frac{V_{RTA}}{0.8} = 1.25 \cdot V_{RTA} \quad (3)$$

$$V_{ram} = V_{VTA} - V_{RTA} \quad (4)$$

$$V_{ram} = 1.25 \times V_{RTA} - V_{RTA} = 0.25 \cdot V_{RTA} \quad (5)$$

En los programas de manejo revisados el cálculo del V_{TA} para *Quercus* y otras hojosas asume un 30% de volumen de ramas como se indica a continuación.

$$V_{VTA} = 1.3 \cdot V_{RTA} \quad (6)$$

Modelos SiBiFor

$$V_{RTA} = \alpha_0 \cdot D^{\alpha_1} \cdot H^{\alpha_2} \quad (7)$$

$$V_{ram} = \beta \cdot D^2 \quad (8)$$

$$V_{VTA} = \alpha_0 \cdot D^{\alpha_1} \cdot H^{\alpha_2} + \beta \cdot D^2 \quad (9)$$

Donde V_{RTA} : Volumen rollo total árbol en m^3 , V_{ram} : Volumen de ramas en m^3 , V_{TA} : Volumen total árbol en m^3 , D : Diámetro normal en cm, H : Altura total en m y $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ y β : Parámetros estimados.

Cuadro 1.2. Parámetros INF del estado de Puebla (1978).

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2	<i>Abies religiosa</i>	<i>Quercus</i> y hojosas
α_1	-9.73084158	9.63495649	-9.93192125	-9.69246238
α_2	1.86001307	1.86670523	1.84729884	1.92883177
α_3	0.98860113	0.99551381	1.10791957	0.9053871

Grupo 1: *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae* y *P. patula*. Grupo 2: *P. pseudo-strobus*, *P. teocote*, *P. rudis*, *P. leiophylla* y *P. lawsoni*.

Cuadro 1.3. Parámetros de los modelos SiBiFor por especie de la UMAFOR 2108.

Parámetro	<i>Abies religiosa</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	<i>P. leiophylla</i>	<i>P. montezumae</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. pseudostrobus</i>	<i>P. teocote</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
α_0	0.00005	0.00005	0.00007	0.00006	0.00008	0.00006	0.00008	0.00010	0.00008
α_1	1.49060	1.62539	1.96954	1.83581	1.69000	1.79793	1.84824	1.73265	1.60260
α_2	1.50494	1.31179	0.87052	1.07277	1.11055	1.10758	0.95479	0.95724	1.19117
β_0	0.00001	0.00004	0.00008	0.00003	0.00002	0.00003	0.00002	0.00015	0.00013
REMC	0.35	0.28	0.19	0.19	0.30	0.36	0.15	0.63	0.21
r^2	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.78	0.94

1.4.4 Análisis estadístico

Para cada especie y cada población artificial (simulada y re-muestreada), se generaron 100 poblaciones diámetro-altura de tamaño 100. En cada evento se realizó una prueba pareada t de Student con los volúmenes estimados restando el volumen SiBiFor del INF. En esta prueba la hipótesis básica es que la diferencia de los volúmenes es igual a cero y para cada prueba se obtuvo la probabilidad de rechazo (p-value). Para cada muestra se estimó el inventario total (sumatoria de los 100 árboles), porcentaje de diferencia y, pendiente de regresión SiBiFor-INF. Estas características obtenidas en las 100 muestras se utilizaron para generar criterios de comparación cualitativa entre los modelos. Todos los datos fueron procesados en Excel.

1.4.5 Proporción de ramas maderables

Usando la población simulada y los modelos SiBiFor para V_{RTA} y V_{TA} se analizó la proporción de ramas para *Pinus patula* y *Abies religiosa* debido a que son las especies más representativas de la UMAFOR 2108. Estas estimaciones se compararon con estimaciones similares para *Pinus patula* de la UMAFOR 1507 Amanalco del Estado de México debido a que esta se encuentra más cercana al área de estudio y en donde los modelos SiBiFor son aceptados.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para describir adecuadamente los criterios de comparación utilizados ejemplificamos estos de manera detallada en dos de las especies más abundantes de la zona que son *Pinus patula* y *Abies religiosa*. La Figura 1.3 muestra los inventarios V_{RTA} y V_{TA} (m^3/ha^{-1}) para *P. patula* para la población simulada.

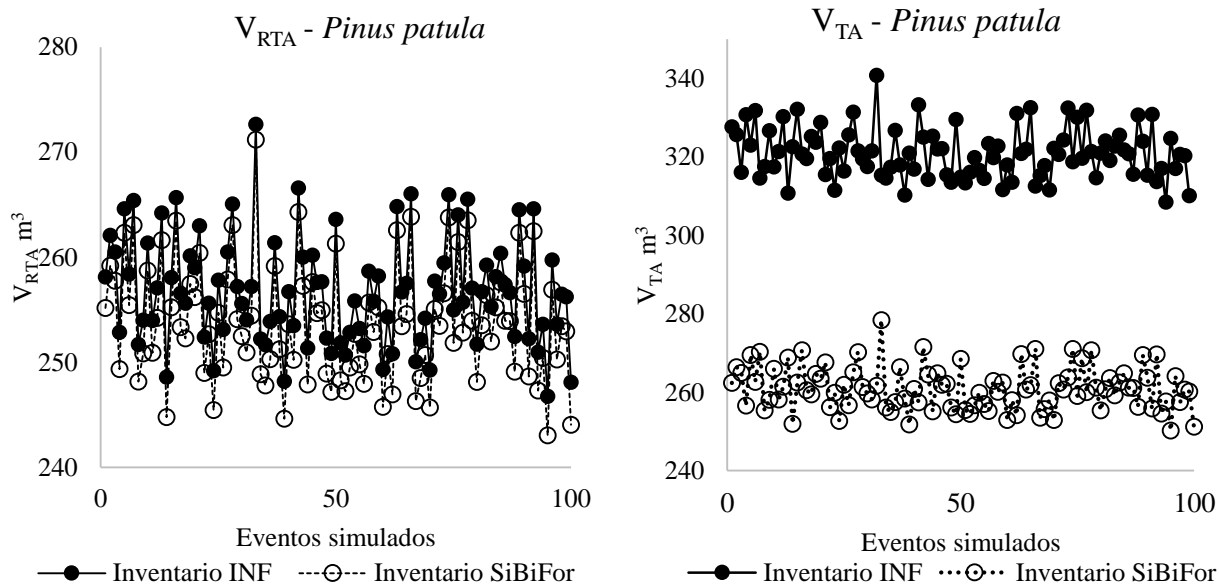


Figura 1.3. Inventarios para V_{RTA} y V_{TA} para población simulada tamaño 100.

El Cuadro 1.4 concentra, a manera de ejemplo, el análisis comparativo de las 100 simulaciones para el V_{RTA} y V_{TA} para *Pinus patula*.

Cuadro 1.4. Resumen de 100 estimaciones (eventos) para el V_{RTA} y V_{TA} en la población simulada de *Pinus patula*.

	Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
V_{RTA}							
Media	256.795	253.755	-0.012	1.049	2.121	1%	34
Máximo	272.649	271.202	-0.005	1.059	2.848	2%	
Mínimo	246.760	243.051	-0.017	1.039	1.053	1%	
V_{TA}							
Media	320.993	260.946	-0.230	1.277	9.782	23%	0
Máximo	340.811	278.393	-0.224	1.286	10.047	23%	
Mínimo	308.451	250.242	-0.234	1.268	9.507	22%	

Es interesante notar que, para el V_{RTA} , el INF es ligeramente más optimista produciendo una diferencia promedio del 1 % respecto al SiBiFor. No obstante 34 de los 100 eventos simulados con una probabilidad de 0.05 son rechazados (ambas muestras son estadísticamente iguales). Si se toma en cuenta que para el inventario se toma un error de muestreo del 10 %, muy probablemente bajo escenarios de sitios de muestreo ambos modelos generen inventarios cuyos intervalos de confianza se traslapen. La pendiente de regresión de manera ideal debería ser igual a 1, no obstante, el ajuste es de 1.049 % del volumen SiBiFor respecto al volumen INF.

Para el V_{TA} los resultados sugieren que la forma como se calculan los inventarios en cada caso produce resultados que serán siempre diferentes (cero eventos tienen probabilidad de rechazo 0.05, y tampoco se tienen eventos con valores de 0.01 y 0.001). Por lo tanto, asumir que el V_{TA} es una proporción constante de 25 % generará siempre mayores valores de inventarios.

La pendiente sugiere que el ajuste respectivo sobre SiBiFor debería ser 27 %. A partir del Cuadro 1.4 es fácil deducir que el volumen de ramas estimado por el modelo SiBiFor es de aproximadamente 2.8 % del V_{RTA} ($253.755 / 260.946 = 0.972$; $1 - 0.972 = 0.028$).

Para la población re-muestreada los resultados se presentan a continuación en la Figura 1.4 y Cuadro 1.5.

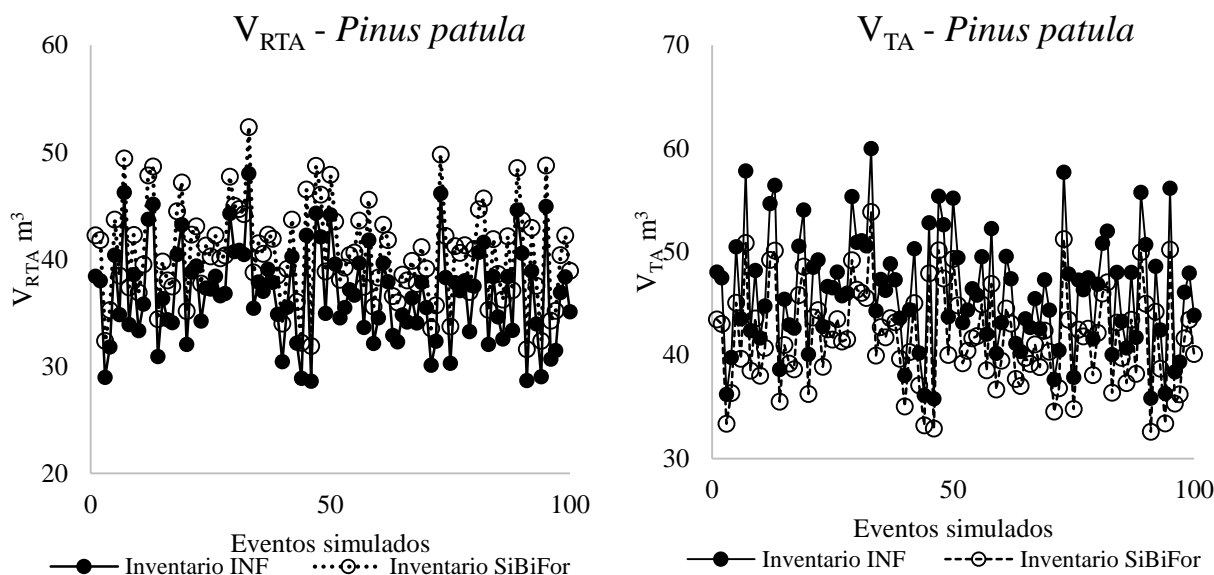


Figura 1.4. Inventarios para V_{RTA} y V_{TA} para población re-muestreada tamaño 100.

Cuadro 1.5. Resumen de 100 estimaciones (eventos) para V_{RTA} y V_{TA} en *Pinus patula* población re-muestreada.

	Inventari o INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendient e Regresió n	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
V_{RTA}							
Media	36.858	40.506	0.091	0.954	12.598	-9%	0
Máximo	48.001	52.349	0.107	1.011	15.687	-6%	
Mínimo	28.621	31.596	0.064	0.908	7.014	-11%	
V_{TA}							
Media	46.073	41.723	-0.103	1.163	5.615	10%	0
Máximo	60.001	53.876	-0.084	1.230	8.477	14%	
Mínimo	35.776	32.601	-0.137	1.109	3.148	8%	

En el caso de la población re-muestreada es interesante notar que para el tamaño 100 sugerido en el inventario total el V_{RTA} de SiBiFor será mayor en promedio que los modelos INF (9%). En caso del V_{TA} , como en los datos simulados, se sugiere que usar el V_{TA} como proporción constante del modelo V_{RTA} genera inventarios mucho mayores que los sugeridos por SiBiFor. La proporción de ramas para SiBiFor es en promedio del 3 %. En este caso se aprecia el efecto que

los árboles grandes tienen cuando se hacen estas comparaciones. En las simulaciones los árboles grandes (mayores de 50 cm) están igualmente representados en el rango de datos, mientras que para el re-muestreo, serán los árboles más frecuentes los que se presenten en cada evento.

En la Figura 1.5 se muestra el comportamiento de las 100 simulaciones para el V_{RTA} y el V_{TA} y en el Cuadro 1.6 se presenta el resumen estadístico de las simulaciones para *Abies religiosa*.

Para el caso de *Abies religiosa* en el V_{RTA} los estadísticos muestran que las diferencias entre ambos modelos son del 29 % donde el INF calcula más volumen, teniendo 0 eventos de rechazo, mientras que para el V_{TA} es del 59 %. Esto se debe a que al modelo del INF se le agrega un 25 % de ramas que hace que se incremente demasiado el volumen total.

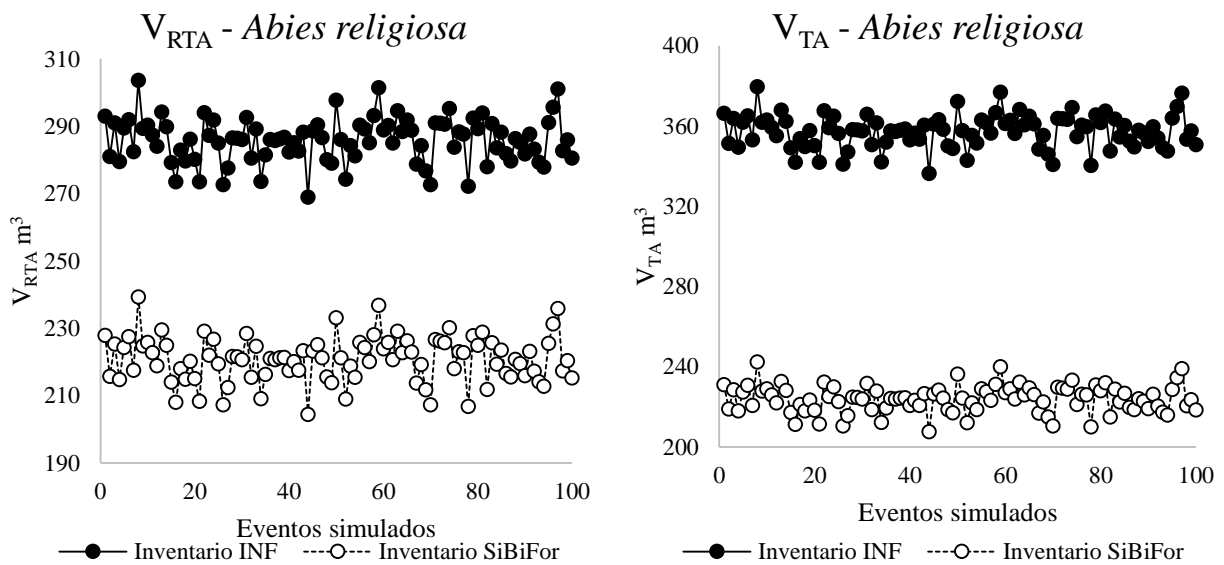


Figura 1.5. Inventarios para volumen V_{RTA} y V_{TA} para población simulada tamaño 100.

Cuadro 1.6. Resumen de los 100 eventos para el V_{RTA} y V_{TA} en *Abies religiosa*.

	Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
V_{RTA}							
Media	285.851	220.768	-0.295	1.352	9.152	30%	0
Máximo	303.623	239.279	-0.269	1.392	9.339	31%	
Mínimo	268.991	204.387	-0.316	1.319	8.928	27%	
V_{TA}							
Media	357.314	223.927	-0.596	1.669	10.187	60%	0
Máximo	379.529	242.438	-0.565	1.716	10.453	62%	
Mínimo	336.238	207.546	-0.621	1.630	9.911	57%	

Para la población re-muestreada de *Abies religiosa* se muestran las gráficas de V_{RTA} y V_{TA} en la Figura 1.6 y el resumen de los estadísticos de las 100 simulaciones en el Cuadro 1.7.

En la población re-muestreada el INF se encuentra por arriba del SiBiFor con un 15 % en el V_{RTA} , mientras que para el V_{TA} el porcentaje es del 42 % calculando un mayor volumen, en este caso, no se presenta ningún evento de rechazo. Esta población se concentra más en categorías menores de 50 cm, esto se debe a que en los bosques muestreados son las categorías más abundantes.

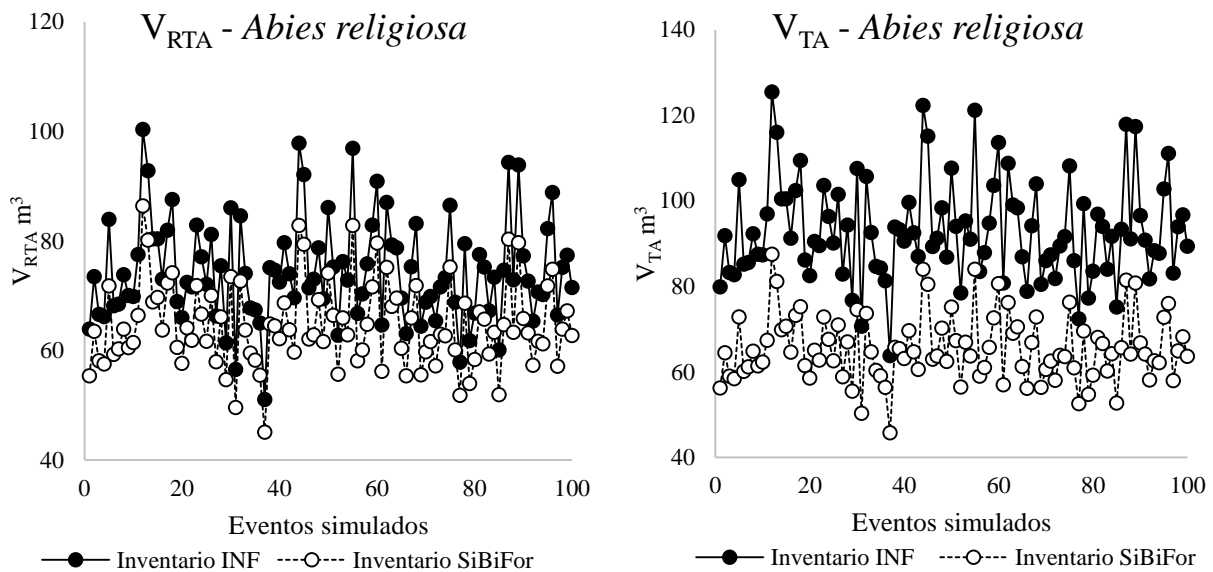


Figura 1.6. Inventarios para volumen V_{RTA} y V_{TA} para población re-muestreada tamaño 100.

Cuadro 1.7. Resumen de los 100 eventos para el V_{RTA} y V_{TA} en *Abies religiosa*.

	Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
			V_{RTA}				
Media	74.529	64.602	-0.153	1.210	5.379	15%	0
Máximo	100.349	86.400	-0.117	1.270	7.246	19%	
Mínimo	51.033	45.084	-0.188	1.136	3.681	12%	
			V_{TA}				
Media	93.162	65.525	-0.421	1.495	6.750	42%	0
Máximo	125.436	87.534	-0.377	1.569	8.708	46%	
Mínimo	63.791	45.763	-0.463	1.405	4.716	38%	

Para el V_{RTA} en las simulaciones de datos *Quercus rugosa* presenta una diferencia del 28% más volumen el INF respecto a SiBiFor, ambos inventarios se muestran semejantes en las demás especies, con 0 eventos de rechazo (Cuadro 1.8).

Los inventarios calculados con INF y SiBiFor para V_{TA} muestran diferencias del 47 % para *Quercus rugosa*, 35 % para *Pinus teocote* y 34 % en *P. ayacahuite*, siendo las especies con mayor sobreestimación de ramas por parte del INF (Cuadro 1.9); sin embargo, para *P. leiophylla* y *P. montezumae* presentan el 7 % y 2 % respectivamente.

Cuadro 1.8. Resumen de los 100 eventos con los datos simulados para el V_{RTA} de las 7 especies restantes.

		Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFo (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
<i>Pinus ayacahuite</i>	Media	237.10	209.089	-0.134	1.172	8.441	13%	0
	Máximo	245.61	218.807	-0.122	1.198	8.936	15%	
	Mínimo	229.50	200.355	-0.145	1.152	8.061	12%	
<i>P. leiophylla</i>	Media	238.52	256.26	0.069	0.917	8.663	-7%	0
	Máximo	251.57	268.544	0.075	0.926	8.972	-6%	
	Mínimo	227.09	245.261	0.063	0.909	8.384	-7%	
<i>P. montezumae</i>	Media	230.31	274.464	0.161	0.835	10.897	-16%	0
	Máximo	244.00	292.185	0.165	0.841	11.851	-16%	
	Mínimo	218.36	258.999	0.157	0.831	10.265	-16%	
<i>P. pseudostrobus</i>	Media	186.42	178.204	-0.046	1.047	8.47	5%	0
	Máximo	198.10	190.478	-0.039	1.062	9.199	6%	
	Mínimo	170.24	161.092	-0.057	1.038	7.517	4%	
<i>P. teocote</i>	Media	242.30	217.792	-0.101	0.884	9.877	11%	0
	Máximo	256.73	230.126	-0.099	0.887	10.713	12%	
	Mínimo	228.42	205.888	-0.104	0.88	9.356	11%	
<i>Quercus laurina</i>	Media	168.79	141.855	-0.19	1.244	8.669	19%	0
	Máximo	181.66	152.883	-0.187	1.252	9.068	19%	
	Mínimo	157.85	132.25	-0.194	1.238	8.299	19%	
<i>Q. rugosa</i>	Media	199.91	155.542	-0.285	1.391	8.923	29%	0
	Máximo	206.24	161.818	-0.275	1.408	9.006	29%	
	Mínimo	196.14	151.776	-0.293	1.37	8.789	27%	

Cuadro 1.9. Resumen de los 100 eventos con los datos simulados para el V_{TA} de las 7 especies restantes.

		Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
<i>Pinus ayacahuite</i>	Media	296.379	221.124	-0.34	1.389	10.274	34%	0
	Máximo	307.011	230.842	-0.33	1.413	10.438	35%	
	Mínimo	286.872	212.39	-0.351	1.37	10.131	33%	
<i>P. leiophylla</i>	Media	298.154	278.886	-0.069	1.061	9.355	7%	0
	Máximo	314.465	291.17	-0.059	1.076	10.986	8%	
	Mínimo	283.86	267.887	-0.08	1.048	8.236	6%	
<i>P. montezumae</i>	Media	287.889	283.31	-0.016	1.015	9.634	2%	0
	Máximo	304.995	301.031	-0.013	1.019	10.599	2%	
	Mínimo	272.951	267.844	-0.019	1.011	8.858	1%	
<i>P. pseudostrobus</i>	Media	233.027	188.494	-0.236	1.247	10.815	24%	0
	Máximo	247.625	200.768	-0.232	1.256	11.318	24%	
	Mínimo	212.803	171.382	-0.242	1.242	10.216	23%	
<i>P. teocote</i>	Media	302.874	224.321	-0.35	1.376	10.782	35%	0
	Máximo	320.912	236.655	-0.344	1.385	11.589	36%	
	Mínimo	285.519	212.417	-0.356	1.368	10.23	34%	
<i>Quercus laurina</i>	Media	241.13	186.535	-0.293	1.383	8.74	29%	0
	Máximo	259.508	197.563	-0.274	1.412	9.32	31%	
	Mínimo	225.498	176.93	-0.314	1.352	7.891	27%	
<i>Q. rugosa</i>	Media	285.585	194.415	-0.469	1.584	10.028	47%	0
	Máximo	294.627	200.691	-0.466	1.59	10.226	47%	
	Mínimo	280.2	190.649	-0.471	1.579	9.817	47%	

La estimación de V_{RTA} para las especies a partir de los datos del remuestreo muestran diferencias menores del 10 % siendo *Quercus rugosa* la única sobresaliente con 27 % de diferencia entre ambos modelos (Cuadro 1.10). Se observaron eventos donde se muestra que ambos modelos son estadísticamente iguales tal es el caso de *Pinus ayacahuite* con 2 eventos, *P. pseudostrobus* con 53 eventos, mostrando que no existen diferencias entre los modelos y *Quercus laurina* con 7 eventos de rechazo.

En el caso del V_{TA} para los inventarios con remuestreo se tuvo una diferencia del 27 % para *Pinus teocote*, mientras que para *P. montezumae* fue del 1 %; sin embargo, no se presentan eventos de rechazo del 0.05, siendo el INF el que presentó el mayor volumen (Cuadro 1.11).

Cuadro 1.10. Resumen de los 100 eventos con los datos de re-muestreo para el V_{RTA} de las 7 especies restantes.

		Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
<i>Pinus ayacahuite</i>	Media	33.636	32.19	-0.045	1.047	3.359	5%	2
	Máximo	50.508	48.33	-0.019	1.113	5.125	7%	
	Mínimo	22.755	21.342	-0.073	0.983	1.647	2%	
<i>P. leiophylla</i>	Media	38.587	39.461	0.022	0.967	3.45	-2%	0
	Máximo	53.392	54.756	0.035	0.984	4.755	-1%	
	Mínimo	28.33	28.86	0.012	0.943	2.283	-4%	
<i>P. montezumae</i>	Media	60.192	71.685	0.16	0.833	6.056	-16%	0
	Máximo	80.168	95.746	0.165	0.841	7.366	-15%	
	Mínimo	36.705	43.473	0.154	0.828	4.919	-16%	
<i>P. pseudostrobus</i>	Media	31.628	31.248	-0.012	1.021	1.98	1%	53
	Máximo	54.645	53.906	-0.002	1.058	3.769	3%	
	Mínimo	21.375	21.108	-0.029	0.985	0.514	0.2%	
<i>P. teocote</i>	Media	22.297	21.089	-0.053	0.914	4.674	6%	0
	Máximo	36.788	33.973	-0.041	0.935	7.524	8%	
	Mínimo	15.447	14.803	-0.077	0.881	2.091	4%	
<i>Quercus laurina</i>	Media	32.508	30.843	-0.053	1.128	2.863	5%	7
	Máximo	44.502	41.227	-0.024	1.174	4.214	8%	
	Mínimo	20.069	19.574	-0.082	1.086	1.505	2%	
<i>Q. rugosa</i>	Media	38.018	29.902	-0.272	1.244	9.004	27%	0
	Máximo	43.595	35.292	-0.232	1.308	9.506	32%	
	Mínimo	33.528	25.739	-0.315	1.179	8.24	23%	

Cuadro 1.11. Resumen de los 100 eventos con los datos de re-muestreo para el V_{TA} de las 7 especies restantes.

		Inventario INF (m ³)	Inventario SiBiFor (m ³)	% Diferencia Inventarios	Pendiente Regresión	t-calc	% Dif Inv	Eventos Rechazados al 0.05
<i>Pinus ayacahuite</i>	Media	42.045	34.188	-0.229	1.253	4.859	23%	0
	Máximo	63.135	51.093	-0.198	1.321	6.976	26%	
	Mínimo	28.444	22.94	-0.255	1.183	3.102	20%	
<i>P. leiophylla</i>	Media	48.234	43.452	-0.11	1.117	5.991	11%	0
	Máximo	66.74	59.778	-0.096	1.144	7.513	12%	
	Mínimo	35.412	31.897	-0.125	1.085	4.401	10%	
<i>P. montezumae</i>	Media	75.24	74.203	-0.014	1.012	6.518	1%	0
	Máximo	100.21	98.937	-0.011	1.018	7.955	2%	
	Mínimo	45.881	45.202	-0.017	1.008	4.606	1%	
<i>P. pseudostrobus</i>	Media	39.535	33.076	-0.195	1.219	5.562	19%	0
	Máximo	68.306	56.685	-0.184	1.249	8.573	21%	
	Mínimo	26.719	22.504	-0.211	1.187	3.899	18%	
<i>P. teocote</i>	Media	27.871	21.823	-0.276	1.329	6.617	28%	0
	Máximo	45.985	34.984	-0.256	1.39	10.604	31%	
	Mínimo	19.309	15.37	-0.314	1.295	3.052	26%	
<i>Quercus laurina</i>	Media	46.44	40.195	-0.153	1.285	4.098	15%	0
	Máximo	63.575	53.612	-0.094	1.325	5.783	19%	
	Mínimo	28.67	26.21	-0.192	1.218	2.829	9%	
<i>Q. rugosa</i>	Media	54.311	43.607	-0.245	1.378	7.944	25%	0
	Máximo	62.278	49.153	-0.215	1.401	8.895	27%	
	Mínimo	47.898	39.395	-0.268	1.347	6.623	21%	

Al realizar las comparaciones de las estimaciones entre las UMAFOR 2108 y UMAFOR 1507 entorno al V_{RTA} para la UMAFOR 1507 el promedio de ramas fue 3 %, mientras que para la UMAFOR 2108 fue 4 % para el caso de *Pinus patula*, por su parte para *Abies religiosa* el porcentaje de ramas en la UMAFOR 2108 estuvo por debajo del 10 % y para la UMAFOR 1507 se encontró por debajo del 15 %.

Los resultados obtenidos en ambas UMAFORES muestran que el porcentaje de V_{ram} que se utiliza para los programas de manejo actuales en el estado de Puebla es más del doble respecto a lo estimado en este estudio, lo que da como resultado que el volumen total sea mayor. Lo anterior resulta de calcular el V_{TA} como la sumatoria del V_{RTA} más el ramaje, utilizando el 20 % para coníferas y el 30 % para *Quercus* y otras hojosas. Este método de cálculo de volumen total es cuestionable debido a que a los bosques de la región se les aplican prácticas silvícolas, como, aclareos, podas y control de maleza, lo que resulta en fustes más rectos y con menos ramas.

1.6 CONCLUSIONES

La comparación de estimaciones de volumen de madera mediante modelos del INF (1978) y modelos del SiBiFor (2017), a través de la prueba pareada t de Student, mostró que el volumen rollo total árbol (V_{RTA}) estimado para las nueve especies estudiadas es similar independientemente del modelo que se utilice. Sin embargo, las estimaciones de volumen total árbol (V_{TA}) resultaron diferentes, ya que los modelos de SiBiFor calculan un volumen menor. Dicho de otra manera, los modelos del INF, en su uso actual estiman un volumen de ramas mayor, lo que sugiere la necesidad de preguntarse si los bosques se están aprovechando bajo el principio de sostenibilidad. El presente estudio muestra un método de validación para fomentar el uso de los modelos SiBiFor en la elaboración de programas de manejo forestal maderable. Otra manera, más precisa, y más costosa,

sería realizarlo con datos de campo comparándolas estimaciones de ambos modelos al cubicar árboles derribados.

CAPÍTULO 2 ESTIMADORES DE MUESTREO PARA INVENTARIO FORESTAL SiBiFor vs INF

2.1 RESUMEN

Cuando se analiza la pertinencia de un sistema biométrico en el contexto de un inventario forestal, muchas veces se consideran solamente los valores promedio obtenidos (estimación puntual) sin observar el valor del intervalo de confianza (estimador de variabilidad). De forma sencilla dos estimaciones cuyos intervalos de confianza al 95 % se contienen (traslapan) se pueden considerar estadísticamente iguales. Dado que los modelos usados generalmente para cubicar son de factor de forma variable, es de esperarse que la dispersión del volumen estimado no sea homogénea en un inventario forestal por lo que es posible que dos sistemas biométricos puedan generar resultados equivalentes una vez que se apliquen a condiciones reales con riqueza de distribuciones diamétricas, de altura y densidad. En la UMAFOR 2108 (Chignahuapan-Zacatlán) actualmente se debate sobre el uso de dos sistemas de cubicación potenciales para realizar los programas de manejo: el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) y ecuaciones del Inventario Nacional Forestal (INF). En este trabajo se utilizaron ambos sistemas y se analizaron en el contexto de las estimaciones puntuales y de intervalo usando dos estimadores de muestreo (Muestreo Simple al Azar (MSA) y Muestreo Estratificado (ME)) con datos de inventarios forestales con fines de manejo maderable. El volumen estimado rollo total (fuste o V_{RTA}) y volumen total árbol (fuste más ramas o V_{TA}) se analizó a dos niveles poblacionales predio y región. También se analizaron por agrupaciones de género y para las especies más abundantes (*Pinus patula* y *P. teocote*).

Para el V_{RTA} total (todas las especies) por ha los estimadores de MSA y ME sugieren que no existen diferencias estadísticas entre sistemas biométricos a nivel predial o regional. No obstante, para el V_{TA} por ha se encontraron diferencias estadísticamente significativas a nivel regional y en la mayoría de las estimaciones prediales.

A nivel de género no existen diferencias entre ambos sistemas biométricos para el V_{RTA} bajo MSA y ME por predio. No obstante, a nivel regional si se observan diferencias del V_{RTA} sobre todo para *Pinus*. En el caso del V_{TA} en la mayoría de los predios analizados si presentaron diferencias estadísticamente significativas por el uso de los porcentajes fijos de ramas.

Para los volúmenes estimados de *Pinus patula* se tienen diferencias significativas entre ambos sistemas biométricos para el V_{RTA} a nivel regional pero no se detectan a nivel predial. En *Pinus teocote* no existen diferencias a nivel regional o predial para el V_{RTA} . Para el V_{TA} en ambas especies se tiene diferencias regionales y prediales estadísticamente significativas.

En general ambos sistemas generan resultados similares al estimar el V_{RTA} y si bien las diferencias puntuales pueden ser relevantes (género *Pinus* y *Abies*) en un escenario regional, no lo son a nivel predial. No es el caso del V_{TA} donde estas diferencias se magnifican por el uso de la proporción fija del volumen de ramas respecto al V_{RTA} , aunque existen algunas estimaciones a nivel predial donde ambos modelos son estadísticamente iguales.

Palabras claves: Intervalos de confianza, muestreo estratificado, muestreo simple al azar, SiBiFor, UMAFOR 2108.

SAMPLING ESTIMATORS FOR FOREST INVENTORY SiBiFor vs INF

2.2 ABSTRACT

When analyzing the relevance of a biometric system in the context of a forest inventory, many times only the average values obtained (point estimate) are considered without observing the value of the confidence interval (variability estimator). In a simple way, two estimates whose 95% confidence intervals contain each other (overlap) can be considered statistically equal. Given that the models generally used for cubing are of variable shape factor, it is to be expected that the dispersion of the estimated volume is not homogeneous in a forest inventory, so it is possible that two biometric systems can generate equivalent results once they are applied to real conditions with richness of diameter, height and density distributions. In the UMAFOR 2108 (Chignahuapan-Zacatlán) currently, there is a debate about the use of two potential scaling systems to carry out management programs. In this case, both systems were used and analyzed in the context of point and interval estimates using two sampling estimators (Simple Random Sampling (SRS) and Stratified Sampling (SS) with data from forest inventories for management purposes. Estimated total roll volume (shaft or V_{RTA}) and total tree volume (stem plus branches or V_{TA}) It was analyzed at two population levels, farm and region. They were also analyzed by genus groupings and by the most abundant species (*Pinus patula* and *P. teocote*)

For the V_{RTA} total (all species) per ha the estimators of SRS and SS suggest that there are no statistical differences between biometric systems at the farm or regional level. However, for the V_{TA} by ha (assumes one of the biometric systems a fixed percentage of 25% of branches with respect to the V_{RTA}) produces statistically significant differences at the regional level and in most property estimates.

At the gender level, there are no differences between both biometric systems under SRS and SS by property. However, at the regional level, if differences are observed in the V_{RTA} especially for *Pinus*. In the case of the V_{TA} , in most of the farms analyzed, there were statistically significant differences due to the use of fixed percentages of branches.

For the estimated volumes of *Pinus patula*, there are significant differences between both biometric systems for the V_{RTA} at the regional level, but they are not detected at the farm level. In *Pinus teocote* there are no differences at the regional or farm level for the V_{RTA} . For the V_{TA} in both species there are statistically significant regional and farm differences.

In general, both systems generate similar results when estimating the V_{RTA} and although the specific differences may be relevant (*Pinus* and *Abies* genera) in a regional scenario, they are not at the farm level. This is not the case of the V_{TA} , where these differences are magnified by the use of the fixed proportion of the volume of branches with respect to the V_{RTA} , although there are some estimates at the farm level where both models are statistically equal.

Keywords: Confidence intervals, simple random sampling, stratified sampling, SiBiFor,

UMAFOR 2108.

2.3 INTRODUCCIÓN

El Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor, 2017) se creó a fin de actualizar los modelos que estiman volumen en pie y que se utilizan para calcular los inventarios forestales y obtener las autorizaciones de aprovechamiento. El sistema ajustó modelos a nivel unidad de manejo forestal (UMAFOR) a fin de lograr mejores estimaciones regionales que las que tradicionalmente se obtienen con los modelos generados por el inventario forestal (INF). SiBiFor contiene un catálogo de ecuaciones de V_{RTA} y V_{TA} , ahusamiento compatible para la distribución de productos, índice de sitio y crecimiento en diámetro normal para especies arbóreas de bosque templados y tropicales por unidad de manejo forestal (Vargas-Larreta *et al.*, 2017). No obstante, a pesar de ser un sistema biométrico actualizado, existe la controversia por parte de la autoridad encargada de autorizar los programas de manejo forestal y prestadores de servicios técnicos del estado de Puebla sobre la utilización del SiBiFor en la elaboración de los programas de manejo forestal maderable.

Las estimaciones volumétricas con fines de gestión forestal en la UMAFOR 2108 (región Chignahuapan-Zacatlán) se realizan con los modelos del Inventario Nacional Forestal del Estado de Puebla (INF) (1978). Dichos modelos cuentan con ecuaciones de volumen de fuste (Volumen Rollo Toral Árbol, V_{RTA}) y para la estimación del volumen de fuste más ramas (Volumen Total Árbol, V_{TA}) se utiliza un método que consiste en agregarle al V_{RTA} un porcentaje fijo de ramas del 20 % para *Pinus*, 25 % para *Abies* y el 30 % para *Quercus* y otras hojosas.

La SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) menciona en un requerimiento de un programa de manejo maderable lo siguiente “que los programas de manejo donde se utilizan los modelos biométricos para la planeación del manejo forestal sustentable para los ecosistemas con potencial maderable de México, particularmente para la UMAFOR 2108 Chignahuapan-Zacatlán, resultando que dichos modelos biométricos presumiblemente subestiman

el porcentaje de ramaje, a la fecha dichos modelos continúan en proceso de validación y autorización”.

La comparación objetiva de los resultados de ambos sistemas biométricos se puede realizar desde el punto de vista de los modelos *per se* (evaluación de los modelos) o a partir de los resultados que estos generan una vez que se implementan en el cálculo del inventario forestal. En México la mayoría de los inventarios de recursos naturales implementan un muestreo basado en diseños, como los estimadores de muestreo simple al azar (MSA) y el muestreo estratificado (ME) (Fierros *et al.*, 2018).

El uso de los estimadores de muestreo para hacer inferencias acerca de una población parte de que la información obtenida de una muestra representa a la población con cierta confiabilidad estadística, es decir, la probabilidad que la muestra obtenida sea representativa de la población analizada (Kleeberg y Ramos, 2009). Los estimadores de muestreo permiten conocer la estimación puntual (promedio) de la población y la incertidumbre (el intervalo de confianza) de los valores. En combinación ambos estadísticos permiten estimar tanto la magnitud, como la precisión de las estimaciones, pudiéndose interpretar el intervalo en términos del margen de error de la estimación puntual (Correa y Sierra, 2003).

El objetivo del presente trabajo fue comparar los resultados obtenidos por los modelos de volumen rollo total árbol y volumen total árbol de INF (1978) y SiBiFor (2017) bajo diferentes estimadores de muestreo completamente al azar (MSA) y estratificado (ME) mediante la amplitud de sus intervalos de confianza al 95 % para determinar si las diferencias entre ambos sistemas impactarán los resultados de los inventarios maderables tanto a escala predial como regional.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo Forestal Regional (UMAFOR) 2108 (región Chignahuapan-Zacatlán), perteneciente a la Sierra Norte de Puebla. Se localiza entre los paralelos 20° 07' 06'', 19° 44' 18'' de latitud norte y entre los meridianos 97° 57' 18'' y 97° 38' 42'' y colinda al sur con el estado de Tlaxcala y al oeste con el estado de Hidalgo.

2.4.2 Datos dasométricos

Se utilizaron los datos de inventarios forestales provenientes de estudios dasométricos de programas de manejo vigentes de 12 predios con una superficie total de 3 849 ha (Cuadro 2.1) pertenecientes a la UMAFOR 2108. Los datos se colectaron de sitios circulares de 1000 m²; a los árboles del sitio se les midió el diámetro normal (1.30 m) y la altura total. Se obtuvieron los volúmenes V_{RTA} y V_{TA} de las especies que comparten información entre ambos sistemas biométricos (*Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite*, *P. leiphylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. rudis*, *Quercus crassifolia*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*) para posteriormente obtener valores por unidad de área utilizando estimadores de MSA y ME.

Cuadro 2.1. Superficie de los predios.

Predio	Sitios	Rodales	Superficie (ha)
1	646	92	603.90
2	363	79	321.38
3	548	107	486.97
4	395	38	368.21
5	168	31	157.13
6	102	18	94.88
7	206	46	186.38
8	204	31	175.54
9	329	71	290.25
10	530	130	408.62
11	707	68	668.71
12	111	29	87.06
Total			3,849.03

$$V_{RTA} = \exp[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \ln(D) + \alpha_3 \cdot \ln(H)] \quad (1)$$

$$V_{RTA} = \exp[\alpha_1] \cdot D^{\alpha_2} \cdot H^{\alpha_3} \quad (2)$$

$$V_{VTA} = \frac{V_{RTA}}{0.8} = 1.25 \cdot V_{RTA} \quad (3)$$

$$V_{ram} = V_{VTA} - V_{RTA} \quad (4)$$

$$V_{ram} = 1.25 \times V_{RTA} - V_{RTA} = 0.25 \cdot V_{RTA} \quad (5)$$

En los programas de manejo revisados el cálculo del V_{TA} para *Quercus* y otras hojosas asume un 30% de volumen de ramas como se indica a continuación.

$$V_{VTA} = 1.3 \cdot V_{RTA} \quad (6)$$

Modelos SiBiFor

$$V_{RTA} = \alpha_0 \cdot D^{\alpha_1} \cdot H^{\alpha_2} \quad (7)$$

$$V_{ram} = \beta \cdot D^2 \quad (8)$$

$$V_{VTA} = \alpha_0 \cdot D^{\alpha_1} \cdot H^{\alpha_2} + \beta \cdot D^2 \quad (9)$$

Donde V_{RTA} : Volumen rollo total árbol en m^3 , V_{ram} : Volumen de ramas en m^3 , V_{TA} : Volumen total árbol en m^3 , D : Diámetro normal en cm, H : Altura total en m y $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ y β : Parámetros estimados.

Cuadro 2.2. Parámetros INF del estado de Puebla (1978).

Parámetro	Grupo 1	Grupo 2	<i>Abies religiosa</i>	<i>Quercus</i> y hojosas
α_1	-9.73084158	9.63495649	-9.93192125	-9.69246238
α_2	1.86001307	1.86670523	1.84729884	1.92883177
α_3	0.98860113	0.99551381	1.10791957	0.9053871

Grupo 1: *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae* y *P. patula*. Grupo 2: *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. rudis*, *P. leiophylla* y *P. lawsoni*.

Cuadro 2.3. Parámetros de los modelos SiBiFor por especie de la UMAFOR 2108.

Parámetro	<i>Abies religiosa</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	<i>P. leiophylla</i>	<i>P. montezumae</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. pseudostrobus</i>	<i>P. teocote</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
α_0	0.00005	0.00005	0.00007	0.00006	0.00008	0.00006	0.00008	0.00010	0.00008
α_1	1.49060	1.62539	1.96954	1.83581	1.69000	1.79793	1.84824	1.73265	1.60260
α_2	1.50494	1.31179	0.87052	1.07277	1.11055	1.10758	0.95479	0.95724	1.19117
β_0	0.00001	0.00004	0.00008	0.00003	0.00002	0.00003	0.00002	0.00015	0.00013
REMC	0.35	0.28	0.19	0.19	0.30	0.36	0.15	0.63	0.21
r^2	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.78	0.94

2.4.3 Muestreo Simple al Azar (MSA)

El MSA asume que las unidades de muestreo obtenidas en cada muestra fueron al azar, de tal forma que la combinación del número de unidades es igualmente probable (Roldán-Cortés *et al.*, 2013). En este caso, para cada predio descrito en el Cuadro 2.1 se obtuvieron n los estimadores por ha de MSA para los volúmenes totales, por género y por especie. Este es el estimador de referencia ya que asume que el predio en su totalidad fue muestreado como una sola población.

Cuadro 2.4. Estimadores de muestreo MSA.

Parámetro	Ecuación
Media	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$
Varianza muestral	$s_y^2 = \sum_{i=1}^n - \left(\frac{y_i - \bar{y}}{n} \right)^2 / n - 1 \quad (10)$
Varianza de la media	$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S^2}{n} \left(\frac{N - n}{N} \right) \quad (11)$
Inventario o Población total	$\hat{T} = N\bar{y} \quad (12)$

y_i = Volumen con corteza en m³ en el i-ésimo sitio de muestreo; N = Número total de unidades de muestreo en la población; n = Número de unidades incluidas en la muestra (Tadeo *et al.*, 2014).

2.4.4 Muestreo Estratificado (ME)

La población es dividida en sub-poblaciones no traslapadas llamadas estrato. De cada estrato se selecciona una muestra (aleatoria o sistemática) de sitios de inventario, los cuales son independientes. Con este método se busca que los estratos sean lo más heterogéneo posible entre ellos, pero lo más homogéneo posible dentro de cada uno (Roldán-Cortés *et al.*, 2013). En México este diseño de muestreo es el más utilizado ya que en general, los estratos están definidos por las unidades de manejo. La totalidad de datos de inventario usados tienen estratos que se usan para obtener los valores estimados del promedio y varianza de la media.

Cuadro 2.5. Estimadores de muestreo ME.

Parámetro	Ecuación
Media muestral por estrato h	$N = \sum_{h=1}^L N_h; n = \sum_{h=1}^L n_h \quad (13)$
Media muestral en el estrato h	$\bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \bar{y}_{h,i} \quad (14)$
Varianza muestral en el estrato h	$S_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)^2}{n_h - 1} \quad (15)$
Varianza de la media en el estrato h	$S_{\bar{y}_h}^2 = \frac{S_h^2}{n_h} \left(\frac{N_h - n_h}{N_h} \right) \quad (16)$
Total por estrato h	$\hat{T} = N_h \bar{y}_h \quad (17)$
Varianza del total por estrato	$S_{\hat{T}_h}^2 = (N_h)^2 S_{\bar{y}_h}^2 = (N_h)^2 \frac{S_h^2}{n_h} \left(\frac{N_h - n_h}{N_h} \right) \quad (18)$
Poblacional	
Media muestral de la población	$\bar{y}_E = \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{N} \bar{y}_h = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h \quad (19)$
Varianza de la media muestral de la población	$S_{\bar{y}_E}^2 = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N} \right)^2 S_{\bar{y}_h}^2 \quad (20)$
Estimador del total de la población	$\hat{T}_E = N_{\bar{y}_E} = N \left(\frac{1}{N} \sum_{h=1}^L N_h \bar{y}_h \right) \sum_{h=1}^L \hat{T}_h \quad (21)$
Varianza del estimador total de la población	$S_{\hat{T}_E}^2 = N^2 S_{\bar{y}_E}^2 = \sum_{h=1}^L N^2 S_{\bar{y}_E}^2 = \sum_{h=1}^L \hat{T}_h \quad (22)$

y_i = Volumen con corteza en m^3 en el i -ésimo sitio de muestreo; N = Número total de unidades de muestreo en la población; n = Número de unidades incluidas en la muestra; N_h = Número total de unidades muestrales en el estrato h ; L = Número total de estratos en la población; n_h = Número total de unidades en el estrato h incluidas en la muestra; y_{hi} = Valor observado de la variable de interés y (volumen con corteza en m^3) en la i -ésima unidad muestral en el h -ésimo estrato (Tadeo *et al.*, 2014).

La Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2006, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas, menciona que los volúmenes deben reportarse por especie, aunque la estimación del error de muestreo (10 %) y confiabilidad del 95 % es a nivel de volumen total predio.

Para evaluar el efecto de los sistemas biométricos a nivel regional se obtuvieron también los estimadores de ME para el V_{RTA} y V_{TA} total a nivel de género y especie (*Pinus patula* y *P. teocote*) tomando como estrato cada predio y usando la media y la varianza de la media estratificada de cada predio para lograr compatibilidad de los estimadores a nivel regional y siguiendo con la metodología descrita en el Cuadro 2.3, con el fin de analizar los inventarios INF y SiBiFor a nivel regional.

Para cada diseño de muestreo y sistema biométrico se estimó el V_{RTA} y V_{TA} a nivel total, género y especie (*Pinus patula* y *P. teocote*), además del intervalo de confianza al 95 % de confiabilidad, los cuales se compararon de manera pareada a fin de establecer si las diferencias de las medias estimadas entre combinaciones relevantes son estadísticamente diferentes.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Volumen total V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial

A nivel regional los intervalos de confianza de los estimadores del MSA y ME para el V_{RTA} total por ha (todas las especies) sugieren que no hay diferencias estadísticas ya que los intervalos entre estimadores y sistemas biométricos se traslapan entre ellos (Figura 2.1). Aunque SiBiFor sugiere volúmenes optimistas comparado con INF esta diferencia no es mayor del 1.8 % respecto al volumen INF para MSA y del 1.3 % para ME. A nivel regional se puede concluir que usar los estimadores SiBiFor o INF para estimar el V_{RTA} total por ha producirán resultados muy similares que se pueden considerar estadísticamente iguales.

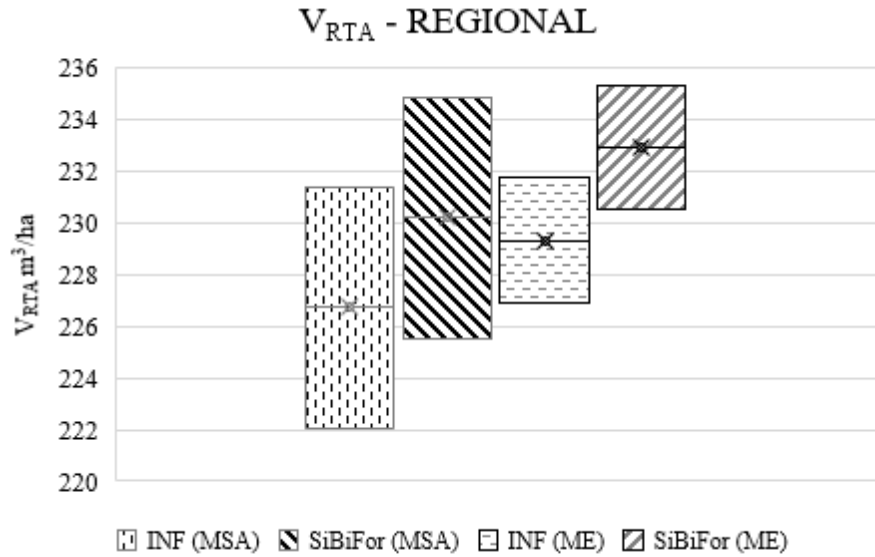


Figura 2.1. Comparación gráfica de los IC del volumen total por ha para V_{RTA} con MSA y ME a nivel regional.

Sin embargo, estos mismos estimadores utilizando los valores de V_{TA} total por ha sugieren que entre sistemas biométricos existen diferencias estadísticamente significativas (Figura 2.2) aunque estas no son significativas entre estimadores para un mismo sistema biométrico. En ambos casos las diferencias sobre estimadores SiBiFor representan el 20 % del V_{TA} total por ha estimado mediante SiBiFor.

A nivel predial, no existen diferencias entre sistemas biométricos para el V_{RTA} total por ha, tanto para los estimadores de MSA (Cuadro 2.6) como para los estimadores de ME (Cuadro 2.7).

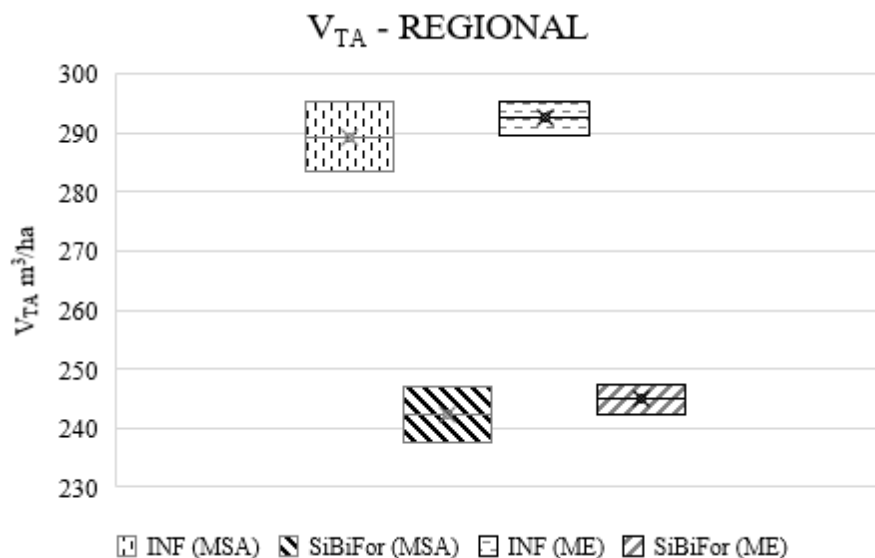


Figura 2.2. Comparación gráfica de los IC del volumen total por ha para V_{TA} con MSA y ME a nivel regional.

Cuadro 2.6. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Forestal Nacional (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	95%
198.5	208.0	189.0	4.8%	195.9	204.8	187.0	4.5%	T
287.1	303.0	271.2	5.5%	286.6	302.0	271.1	5.4%	T
192.0	202.6	181.4	5.5%	198.9	210.1	187.7	5.6%	T
221.7	232.3	211.0	4.8%	231.0	241.9	220.0	4.7%	T
228.0	243.6	212.3	6.9%	241.9	259.4	224.4	7.2%	T
187.2	204.2	170.1	9.1%	192.5	210.1	174.9	9.1%	T
274.3	303.0	245.7	10.4%	276.4	305.5	247.4	10.5%	T
205.9	221.0	190.8	7.3%	199.8	214.5	185.1	7.4%	T
304.4	317.2	291.6	4.2%	298.8	311.7	286.0	4.3%	T
181.9	191.2	172.5	5.1%	181.9	191.4	172.4	5.2%	T
257.0	275.1	238.9	7.0%	268.1	286.0	250.2	6.7%	T
114.8	128.1	101.5	11.6%	120.0	134.2	105.8	11.8%	T

Donde: +IC: Intervalo de confianza superior, -IC: Intervalo de confianza inferior, EM: Error de Muestreo.

Cuadro 2.7. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Forestal Nacional (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	95%
198.3	204.9	191.8	3.3%	195.5	201.7	189.2	3.2%	T
288.4	297.5	279.4	3.1%	288.4	297.5	279.4	3.1%	T
196.6	202.1	191.2	2.8%	204.0	209.6	198.4	2.7%	T
223.6	231.3	215.9	3.5%	233.3	241.4	225.1	3.5%	T
230.4	242.0	218.7	5.1%	244.9	257.8	232.0	5.3%	T
186.4	213.2	159.6	14.4%	191.2	206.5	176.0	8.0%	T
282.6	293.4	271.7	3.8%	284.2	295.2	273.3	3.9%	T
200.3	212.0	188.6	5.9%	194.6	206.1	183.1	5.9%	T
306.4	317.0	295.9	3.4%	301.0	311.7	290.4	3.5%	T
188.3	196.3	180.2	4.3%	188.8	196.9	180.7	4.3%	T
261.1	265.9	256.3	1.8%	272.0	276.9	267.1	1.8%	T
113.4	124.9	101.9	10.2%	119.8	132.7	106.9	10.8%	T

Respecto a las diferencias a nivel predial los valores estimados del volumen total árbol (fuste más ramas) para los totales por ha en la gran mayoría de los casos se presentan diferencias estadísticamente entre sistemas para V_{TA} por predio (Cuadro 2.8 y 2.9).

Cuadro 2.8. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Forestal Nacional (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	95%
255.4	267.8	242.9	4.9%	206.1	215.2	197.1	4.4%	NT
366.4	386.8	346.0	5.6%	295.3	311.0	279.6	5.3%	NT
244.2	257.4	231.0	5.4%	213.1	224.5	201.6	5.4%	NT
280.3	293.8	266.9	4.8%	242.4	253.7	231.0	4.7%	NT
288.0	307.4	268.6	6.7%	254.7	272.2	237.2	6.9%	T
233.9	255.3	212.6	9.1%	198.1	216.1	180.1	9.1%	T
348.4	384.5	312.3	10.4%	291.4	320.8	262.0	10.1%	T
268.3	287.7	248.9	7.2%	216.3	231.4	201.1	7.0%	NT
393.2	409.7	376.7	4.2%	309.6	322.7	296.5	4.2%	NT
238.0	249.9	226.0	5.0%	202.4	212.2	192.5	4.9%	NT
323.0	334.4	311.5	7.1%	277.2	286.4	268.0	6.6%	NT
144.2	152.5	135.9	11.5%	127.8	135.2	120.5	11.5%	NT

Cuadro 2.9. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes totales V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Forestal Nacional (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	
255.2	263.8	246.7	3.3%	205.6	212.0	199.2	3.1%	NT
368.1	379.7	356.5	3.1%	297.2	306.4	287.9	3.1%	NT
249.7	256.5	242.8	2.7%	217.8	223.6	212.0	2.7%	NT
282.7	292.4	273.0	3.4%	244.7	253.0	236.4	3.4%	NT
290.9	305.5	276.4	5.0%	257.5	270.6	244.4	5.1%	NT
233.0	252.0	213.9	8.2%	196.8	212.7	180.8	8.1%	NT
359.0	372.6	345.3	3.8%	299.5	310.7	288.3	3.7%	NT
261.0	276.1	245.9	5.8%	210.8	222.9	198.8	5.7%	NT
395.7	409.2	382.3	3.4%	311.6	322.5	300.8	3.5%	NT
246.0	247.1	244.9	4.2%	208.9	217.3	200.5	4.0%	NT
328.2	334.2	322.2	1.8%	281.2	286.2	276.1	1.8%	NT
142.5	149.7	135.3	10.1%	127.4	134.0	120.7	10.4%	NT

Al calcular los inventarios a nivel regional el impacto entre ambos sistemas es más evidente. En el Cuadro 2.10 se observa este efecto, donde si bien existen diferencias en las estimaciones V_{RTA} entre sistemas, estas no son estadísticamente diferentes. No obstante, usar los criterios de volumen de ramas constante sí afecta de manera considerable tanto el inventario regional y como el predial.

Cuadro 2.10. Inventario en m^3 por ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados.

	Volumen Rollo Total árbol m^3			Volumen total árbol m^3		
	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor
MSA	872,627	885,955	-3,329	1,113,514	932,505	181,009
ME	882,623	896,539	-13,916	1,125,900	942,698	183,201

2.5.2 Volumen por género V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial

Un resumen gráfico de los intervalos de confianza para V_{RTA} se presentan en las Figuras 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 con los estimadores de MSA y ME para *Abies*, *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus* respectivamente. Es importante notar el efecto del diseño de muestreo, tanto en la estimación puntual (promedio) como en las comparaciones entre diseños de muestreo y sistemas biométricos.

Dado que las coníferas son las que representan el mayor volumen por ha es relevante comentar que el sistema INF (1978) tiende a ser mucho más optimista para *Abies* que para *Pinus*, y en parte esto explicaría porqué en los totales regionales previamente comentados no hay diferencias. En el caso de *Quercus* las estimaciones son equivalentes entre sistemas biométricos y estimadores de muestreo.

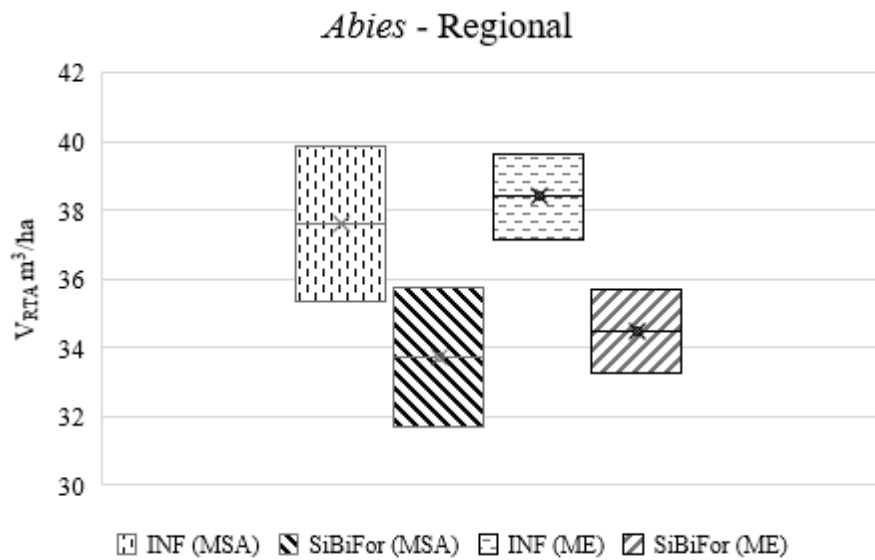


Figura 2.3. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para *Abies* con MSA y ME a nivel regional.

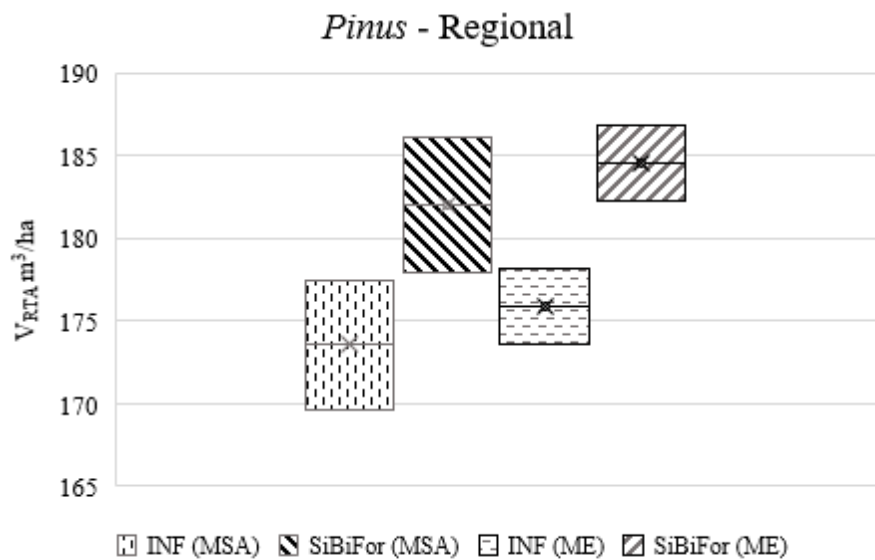


Figura 2.4. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para *Pinus* con MSA y ME a nivel regional.

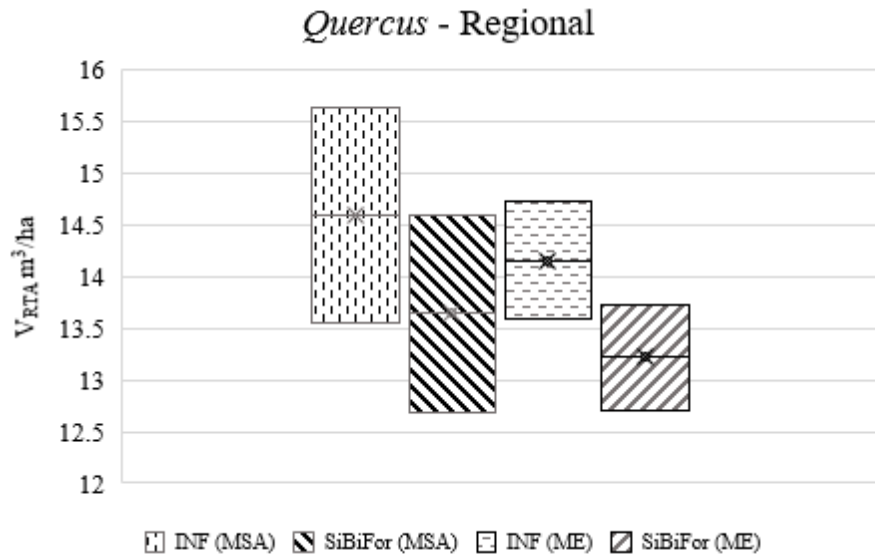


Figura 2.5. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para *Quercus* con MSA y ME a nivel regional.

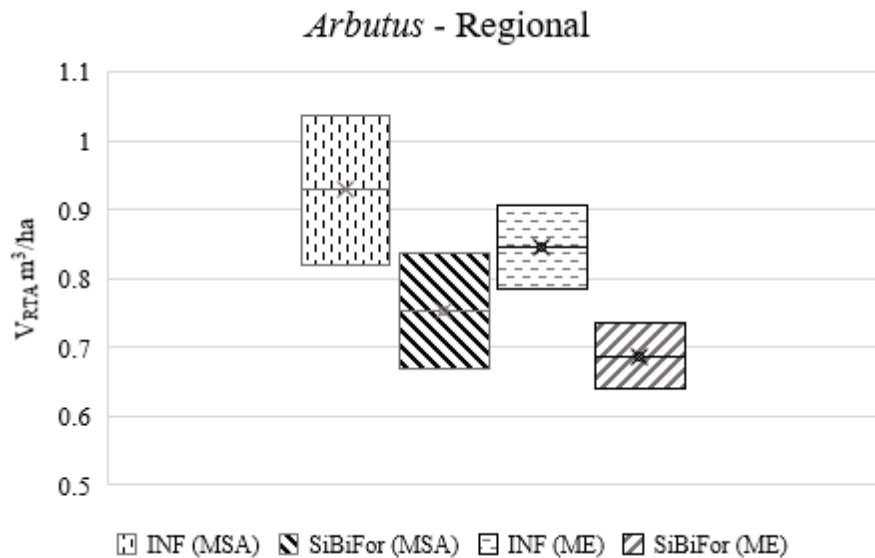


Figura 2.6. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} para *Arbutus* con MSA y ME a nivel regional.

En relación a las estimaciones por predio para el V_{RTA} por género ambos sistemas generan resultados equivalentes en todos los predios bajo MSA y en casi todos bajo ME (a excepción de un predio). La media de volumen por ha del sistema INF tiende a ser siempre más optimista (excepto *Pinus*) (Cuadro 2.11 y 2.12).

Cuadro 2.11. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
<i>Abies</i>										
1	56.0	65.8	46.2	17.5%	49.1	57.8	40.5	17.7%	T	
2	85.1	96.4	73.7	13.4%	75.5	85.5	65.6	13.2%	T	
4	11.0	13.7	8.2	25.0%	9.5	11.9	7.1	25.1%	T	
5	0.6	1.2	0.0	104.6%	0.5	1.0	0.0	100.8%	T	
7	24.8	32.1	17.6	29.1%	22.7	29.3	16.1	29.0%	T	
8	44.8	53.3	36.4	18.9%	39.2	46.5	31.8	18.8%	T	
9	130.7	143.0	118.3	9.4%	119.9	131.4	108.5	9.6%	T	
10	41.3	47.2	35.4	14.3%	38.1	43.4	32.7	14.1%	T	
11	18.1	21.3	15.0	17.4%	16.2	19.0	13.4	17.2%	T	
<i>Pinus</i>										
1	128.3	136.1	120.5	6.1%	133.0	141.1	125.0	6.0%	T	
2	199.3	213.1	185.6	6.9%	208.5	222.8	194.2	6.9%	T	
3	168.4	185.7	151.0	10.3%	177.0	195.3	158.7	10.3%	T	
4	197.6	207.6	187.5	5.1%	208.8	219.4	198.1	5.1%	T	
5	210.7	227.7	193.6	8.1%	226.5	245.3	207.7	8.3%	T	
6	187.2	204.2	170.1	9.1%	192.5	210.1	174.9	9.1%	T	
7	230.1	255.9	204.4	11.2%	237.0	263.4	210.7	11.1%	T	
8	120.4	133.5	107.2	10.9%	123.9	137.5	110.3	11.0%	T	
9	163.5	176.8	150.1	8.2%	169.0	183.0	155.0	8.3%	T	
10	100.2	108.8	91.7	8.6%	106.8	116.0	97.7	8.6%	T	
11	237.7	246.1	229.2	3.6%	250.6	259.2	242.0	3.4%	T	
12	110.7	124.2	97.2	12.2%	116.7	131.1	102.2	12.4%	T	
<i>Quercus</i>										
1	13.3	15.4	11.1	16.4%	12.9	15.0	10.8	16.2%	T	
2	2.5	3.5	1.5	40.8%	2.3	3.3	1.4	39.7%	T	
3	22.8	28.9	16.8	26.3%	21.2	26.7	15.7	25.9%	T	
4	12.9	14.9	10.9	15.5%	12.5	14.4	10.6	15.3%	T	
5	16.5	21.5	11.5	30.0%	14.7	19.2	10.3	30.2%	T	

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
7	19.1	23.1	15.0	21.3%	16.5	19.9	13.0	21.1%	T	
8	39.8	46.0	33.5	15.7%	36.0	41.4	30.5	15.1%	T	
9	9.9	11.7	8.1	18.3%	9.5	11.2	7.8	17.8%	T	
10	35.2	39.0	31.3	11.0%	33.0	36.5	29.4	10.8%	T	
11	1.2	1.5	0.9	24.7%	1.2	1.5	0.9	24.4%	T	
12	3.7	5.3	2.0	45.9%	3.0	4.3	1.6	45.0%	T	
<i>Arbutus</i>										
1	0.9	1.1	0.7	21.2%	0.8	1.0	0.6	20.5%	T	
2	0.2	0.3	0.1	47.6%	0.1	0.2	0.1	46.5%	T	
3	0.8	1.1	0.5	36.3%	0.6	0.9	0.4	34.8%	T	
4	0.2	0.3	0.1	43.5%	0.2	0.2	0.1	43.3%	T	
5	0.2	0.3	0.1	49.9%	0.2	0.3	0.1	48.8%	T	
7	0.3	0.5	0.0	89.9%	0.2	0.4	0.0	88.5%	T	
8	0.9	1.2	0.6	33.3%	0.8	1.0	0.5	32.2%	T	
9	0.4	0.6	0.3	33.1%	0.4	0.5	0.2	32.3%	T	
10	5.1	6.0	4.2	17.3%	4.0	4.7	3.4	16.8%	T	
12	0.4	0.9	0.0	99.2%	0.4	0.8	0.0	99.1%	T	

Cuadro 2.12. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
<i>Abies</i>										
1	57.4	60.6	54.1	5.6%	50.3	55.0	45.6	9.3%	T	
2	85.3	93.2	77.3	9.3%	75.9	82.7	69.0	9.1%	T	
4	10.4	12.5	8.2	20.5%	9.0	10.9	7.2	20.8%	T	
5	0.7	1.2	0.1	79.4%	0.6	1.0	0.1	78.6%	T	
7	25.8	31.5	20.1	22.1%	23.6	25.3	22.0	7.1%	T	
8	41.9	48.2	35.5	15.2%	36.5	42.0	31.1	14.8%	T	
9	132.0	139.5	124.6	5.6%	121.3	128.2	114.4	5.7%	T	
10	45.3	49.4	41.3	8.9%	41.9	45.5	38.3	8.6%	T	
11	19.1	21.4	16.8	12.1%	17.1	19.1	15.1	11.9%	T	
<i>Pinus</i>										
1	126.9	131.8	122.0	3.9%	131.6	136.7	126.5	3.9%	T	
2	200.7	210.3	191.1	4.8%	210.2	220.3	200.2	4.8%	T	
3	174.8	180.2	169.4	3.1%	183.9	189.5	178.3	3.0%	T	
4	200.2	208.1	192.3	3.9%	211.7	220.1	203.3	4.0%	T	
5	213.5	225.9	201.1	5.8%	229.9	243.5	216.2	5.9%	T	
6	186.4	213.2	159.6	14.4%	191.2	206.5	176.0	8.0%	T	
7	236.6	247.3	225.8	4.5%	243.2	248.5	237.8	2.2%	T	
8	118.6	128.8	108.3	8.7%	121.9	132.6	111.2	8.8%	T	
9	165.0	174.7	155.2	5.9%	170.6	180.8	160.3	6.0%	T	
10	104.3	111.6	97.0	7.0%	111.3	119.1	103.6	6.9%	T	
11	240.8	245.6	236.0	2.0%	253.6	258.6	248.7	2.0%	T	
12	109.5	121.3	97.7	10.8%	116.5	129.7	103.4	11.3%	T	
<i>Quercus</i>										
1	13.2	14.6	11.7	11.2%	12.8	14.2	11.4	11.0%	T	
2	2.3	3.1	1.6	32.1%	2.2	2.9	1.5	31.5%	T	
3	21.1	22.8	19.3	8.2%	19.5	21.1	17.9	8.0%	T	
4	12.8	14.2	11.3	11.3%	12.4	13.8	11.0	11.1%	T	
5	16.0	19.9	12.1	24.6%	14.3	17.8	10.7	24.6%	T	
7	19.8	21.5	18.1	8.6%	17.2	18.8	15.6	9.1%	T	

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
8	39.0	44.1	34.0	12.9%	35.3	39.6	31.1	12.1%	T	
9	9.1	10.4	7.7	14.8%	8.8	10.1	7.6	14.2%	T	
10	34.2	37.2	31.3	8.7%	32.0	34.7	29.4	8.3%	T	
11	1.2	1.4	1.0	16.6%	1.3	1.5	1.1	16.4%	T	
12	3.6	5.0	2.2	39.3%	2.9	4.1	1.8	39.7%	T	
<i>Arbutus</i>										
1	0.9	1.1	0.8	17.7%	0.8	0.9	0.7	16.9%	T	
2	0.2	0.3	0.1	48.6%	0.1	0.2	0.1	47.1%	T	
3	0.7	0.9	0.6	19.5%	0.6	0.7	0.5	18.4%	T	
4	0.2	0.3	0.1	44.4%	0.2	0.3	0.1	44.2%	T	
5	0.2	0.3	0.1	38.7%	0.2	0.2	0.1	36.7%	T	
7	0.3	0.5	0.1	75.4%	0.2	0.4	0.0	85.9%	T	
8	0.9	1.1	0.6	31.0%	0.7	0.9	0.5	29.4%	T	
9	0.4	0.5	0.3	27.4%	0.3	0.4	0.2	26.5%	T	
10	4.4	4.9	4.0	9.6%	3.5	3.8	3.2	9.3%	NT	
12	0.4	0.7	0.1	85.2%	0.3	0.6	0.0	85.1%	T	

Respecto al V_{TA} , en los géneros *Abies* y *Pinus* (coníferas) el INF y la proporción constante de ramas produce siempre un mayor volumen haciendo que los IC no se traslapen, aumentando además la variabilidad en cada diseño de muestreo (intervalos de confianza más amplios para INF) (Figura 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10). El efecto del diseño de muestreo para las estimaciones V_{TA} para un mismo sistema biométrico sugiere resultados más optimistas cuando se usa estratificación en *Pinus* y *Abies*, aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas. En *Quercus* y otras hojosas el V_{TA} en ambos sistemas tiende a ser equivalente a nivel regional.

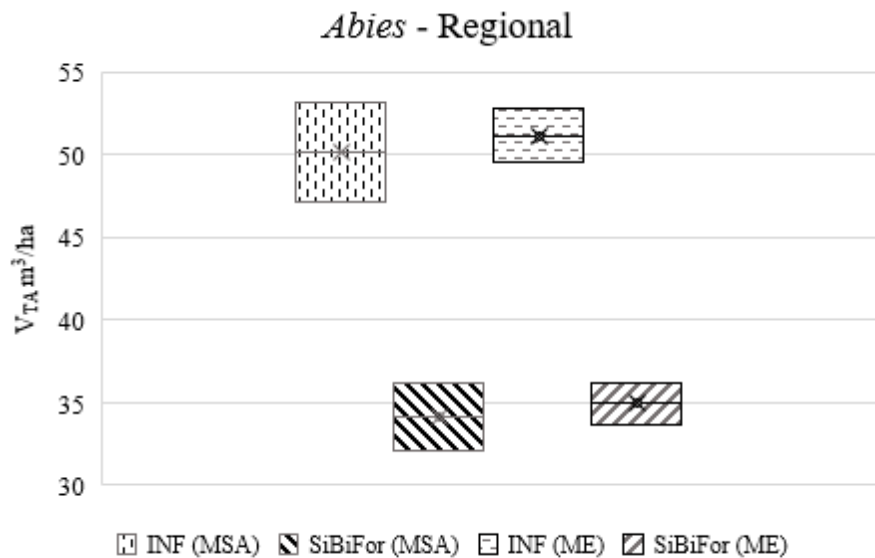


Figura 2.7. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para *Abies* con MSA y ME a nivel regional.

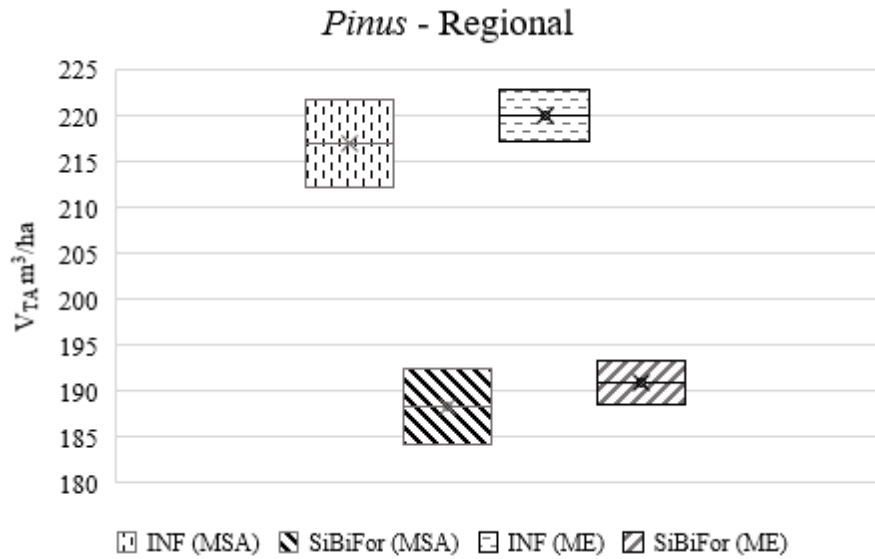


Figura 2.8. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para *Pinus* con MSA y ME a nivel regional.

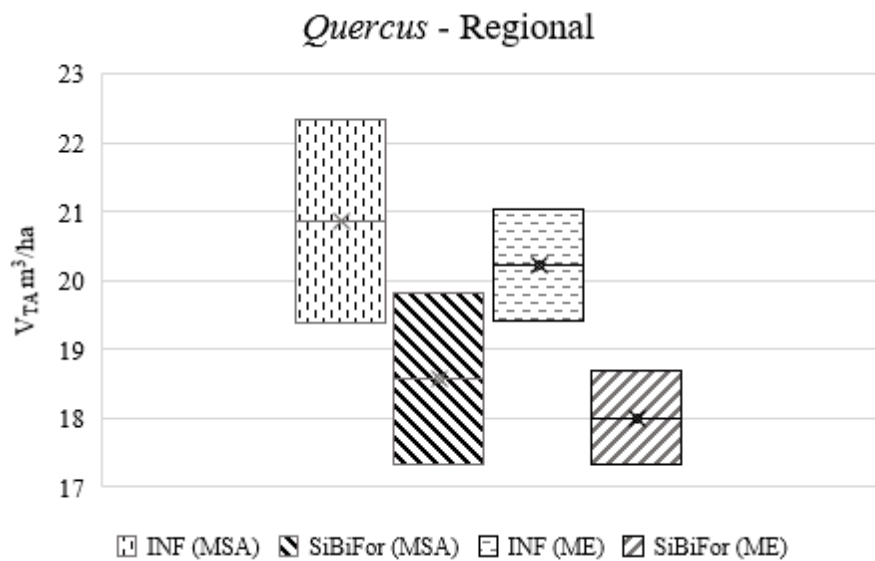


Figura 2.9. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para *Quercus* con MSA y ME a nivel regional.

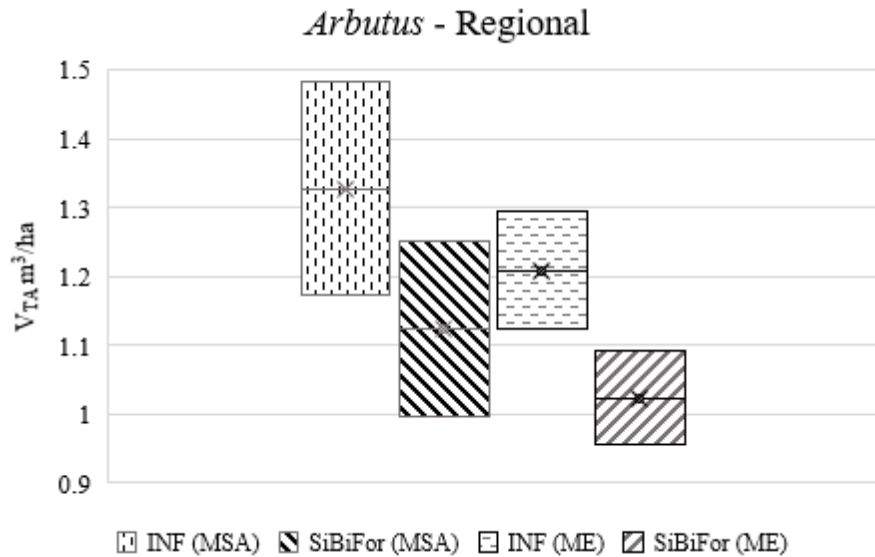


Figura 2.10. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} para *Arbutus* con MSA y ME a nivel regional.

En las estimaciones por predio para el V_{TA} por género en ambos muestreos el INF calculó un mayor volumen que SiBiFor para los géneros de coníferas con resultados que sugieren que la variabilidad de cada predio juega un papel relevante para producir resultados estadísticamente equivalentes. Para los estimadores MSA en *Abies*, 4 de 9 predios resultan ser estadísticamente iguales, mientras que en *Pinus* son 8 de 12 los que resultan estadísticamente iguales (Cuadro 2.13). Para los géneros *Quercus* y *Arbutus* (hojosas) no se presentan diferencias estadísticamente significativas a nivel predial con estimadores MSA. El efecto del muestreo estratificado (Cuadro 2.14) es relevante en este caso para acentuar el efecto de los sistemas biométricos; sin embargo, para *Pinus* 4 de 12 predios son estadísticamente iguales y coinciden con los resultados de MSA.

En general para el V_{TA} las diferencias son muy notorias en los géneros de coníferas, haciendo que el INF genere un mayor volumen a nivel total con ambos estimadores de muestreo (Cuadro 2.15 y 2.16).

Cuadro 2.13. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
<i>Abies</i>										
1	74.66	87.72	61.60	17.5%	49.78	58.57	40.98	17.7%	NT	
2	113.43	128.58	98.27	13.4%	76.55	86.65	66.45	13.2%	NT	
4	14.66	18.33	10.99	25.0%	9.67	12.09	7.24	25.1%	T	
5	0.77	1.58	-0.04	104.6%	0.49	0.99	0.00	100.7%	T	
7	33.12	42.74	23.50	29.1%	22.95	29.58	16.31	28.9%	T	
8	59.76	71.06	48.47	18.9%	39.74	47.18	32.29	18.7%	NT	
9	174.23	190.66	157.79	9.4%	121.55	133.15	109.95	9.5%	NT	
10	55.12	62.99	47.25	14.3%	38.73	44.17	33.29	14.1%	NT	
11	24.17	28.37	19.98	17.4%	16.42	19.25	13.60	17.2%	NT	
<i>Pinus</i>										
1	160.41	170.18	150.65	6.1%	137.74	146.03	129.45	6.0%	NT	
2	249.15	266.37	231.94	6.9%	215.47	230.15	200.79	6.8%	NT	
3	210.47	231.77	189.17	10.1%	183.70	202.25	165.15	10.1%	T	
4	246.94	259.54	234.33	5.1%	215.22	226.08	204.36	5.0%	NT	
5	263.33	284.66	242.01	8.1%	234.42	253.64	215.21	8.2%	T	
6	233.94	255.29	212.60	9.1%	198.14	216.15	180.13	9.1%	T	
7	287.66	319.83	255.49	11.2%	245.64	272.52	218.76	10.9%	T	
8	150.46	166.87	134.05	10.9%	128.66	142.72	114.59	10.9%	T	
9	204.32	221.01	187.63	8.2%	174.67	189.02	160.31	8.2%	T	
10	125.30	136.03	114.58	8.6%	110.81	120.28	101.33	8.5%	T	
11	297.09	307.64	286.54	3.6%	259.08	267.89	250.28	3.4%	NT	
12	138.36	155.27	121.45	12.2%	123.34	138.31	108.36	12.1%	T	
<i>Quercus</i>										
1	18.95	22.04	15.85	16.4%	17.43	20.16	14.71	15.6%	T	
2	3.59	5.05	2.12	40.8%	3.10	4.29	1.91	38.4%	T	
3	32.64	41.08	24.20	25.8%	28.42	35.39	21.45	24.5%	T	
4	18.46	21.32	15.60	15.5%	17.24	19.81	14.68	14.9%	T	
5	23.58	30.67	16.50	30.0%	19.54	25.29	13.78	29.4%	T	

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
7	27.23	33.04	21.42	21.3%	22.51	27.17	17.86	20.7%	T	
8	56.83	65.75	47.90	15.7%	46.85	53.82	39.88	14.9%	T	
9	14.09	16.67	11.51	18.3%	12.83	15.06	10.60	17.4%	T	
10	50.24	55.76	44.73	11.0%	46.63	51.55	41.72	10.5%	T	
11	1.69	2.11	1.28	24.7%	1.69	2.09	1.28	23.9%	T	
12	5.23	7.63	2.83	45.9%	3.96	5.69	2.23	43.8%	T	
<i>Arbutus</i>										
1	1.35	1.64	1.07	21.2%	1.17	1.40	0.95	19.3%	T	
2	0.25	0.36	0.13	47.6%	0.20	0.29	0.11	45.4%	T	
3	1.11	1.51	0.72	35.7%	0.94	1.25	0.63	33.1%	T	
4	0.29	0.41	0.16	43.5%	0.24	0.35	0.14	42.3%	T	
5	0.31	0.47	0.16	49.9%	0.27	0.40	0.14	48.2%	T	
7	0.40	0.76	0.04	89.9%	0.32	0.59	0.04	88.4%	T	
8	1.28	1.71	0.86	33.3%	1.02	1.34	0.69	31.7%	T	
9	0.60	0.79	0.40	33.1%	0.51	0.67	0.35	31.4%	T	
10	7.31	8.58	6.04	17.3%	6.19	7.24	5.14	17.0%	T	
12	0.62	1.24	0.01	99.2%	0.53	1.03	0.02	95.4%	T	

Cuadro 2.14. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes por género V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
<i>Abies</i>										
1	76.5	80.2	72.7	4.9%	50.9	55.7	46.2	9.3%	NT	
2	113.7	124.3	103.1	9.3%	76.9	83.8	69.9	9.0%	NT	
4	13.8	16.7	11.0	20.5%	9.2	11.1	7.3	20.7%	T	
5	0.9	1.6	0.2	79.4%	0.6	1.0	0.1	78.6%	T	
7	34.5	42.1	26.8	22.1%	23.9	25.5	22.2	7.0%	NT	
8	55.8	64.3	47.3	15.2%	37.1	42.6	31.6	14.8%	NT	
9	176.0	186.0	166.1	5.6%	122.9	129.9	115.9	5.7%	NT	
10	60.4	65.8	55.0	8.9%	42.6	46.3	39.0	8.6%	NT	
11	25.5	28.5	22.4	12.1%	17.3	19.3	15.2	11.9%	NT	
<i>Pinus</i>										
1	158.6	164.7	152.5	3.9%	136.2	141.5	131.0	3.9%	NT	
2	250.8	262.8	238.9	4.8%	217.2	227.6	206.9	4.8%	NT	
3	218.5	225.2	211.8	3.1%	190.8	196.5	185.0	3.0%	NT	
4	250.3	260.1	240.4	3.9%	218.3	226.8	209.7	3.9%	NT	
5	266.9	282.4	251.4	5.8%	237.8	251.8	223.8	5.9%	T	
6	233.0	252.0	213.9	8.2%	196.8	212.7	180.8	8.1%	NT	
7	295.7	309.2	282.3	4.5%	251.8	257.2	246.4	2.2%	NT	
8	148.2	161.0	135.3	8.7%	126.7	137.7	115.6	8.7%	T	
9	206.2	218.4	194.0	5.9%	176.3	186.8	165.8	6.0%	NT	
10	130.4	139.5	121.2	7.0%	115.5	123.5	107.6	6.9%	T	
11	301.0	307.0	295.1	2.0%	262.2	267.3	257.1	1.9%	NT	
12	136.9	151.6	122.2	10.8%	123.0	136.5	109.5	11.0%	T	
<i>Quercus</i>										
1	18.8	20.9	16.7	11.2%	17.3	19.0	15.5	10.4%	T	
2	3.3	4.4	2.2	32.1%	2.9	3.7	2.0	30.2%	T	
3	30.1	32.6	27.6	8.2%	26.1	28.1	24.2	7.6%	T	
4	18.3	20.4	16.2	11.3%	17.1	18.9	15.2	10.7%	T	
5	22.9	28.5	17.2	24.6%	18.9	23.4	14.4	23.9%	T	
7	28.3	30.4	26.3	7.2%	23.5	25.4	21.7	7.8%	NT	

Predio	Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%	
	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM		
8	55.8	62.9	48.6	12.9%	46.1	51.6	40.6	11.9%	T	
9	13.0	14.9	11.1	14.8%	11.9	13.5	10.3	13.8%	T	
10	48.9	53.1	44.7	8.7%	45.4	49.2	41.6	8.3%	T	
11	1.7	2.0	1.4	16.6%	1.7	2.0	1.4	16.0%	T	
12	5.1	7.1	3.1	39.3%	3.9	5.4	2.4	38.7%	T	
<i>Arbutus</i>										
1	1.3	1.6	1.1	17.7%	1.2	1.3	1.0	15.6%	T	
2	0.3	0.4	0.1	48.6%	0.2	0.3	0.1	45.9%	T	
3	1.1	1.3	0.9	19.5%	0.9	1.1	0.7	17.7%	T	
4	0.3	0.4	0.2	44.4%	0.3	0.4	0.1	42.9%	T	
5	0.3	0.4	0.2	38.7%	0.2	0.3	0.2	34.9%	T	
7	0.4	0.7	0.2	63.1%	0.3	0.6	0.1	70.9%	T	
8	1.3	1.6	0.9	31.0%	1.0	1.3	0.7	29.0%	T	
9	0.6	0.7	0.4	27.4%	0.5	0.6	0.4	26.1%	T	
10	6.3	6.9	5.7	9.6%	5.4	5.9	4.9	9.3%	T	
12	0.5	0.9	0.1	85.2%	0.4	0.8	0.1	81.7%	T	

Cuadro 2.15. Inventario en m³ con MSA para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados por género.

Género	Volumen Rollo Total Árbol m ³			Volumen Total Árbol m ³		
	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor
<i>Abies</i>	144,735	129,862	14,873	192,980	131,639	61,341
<i>Pinus</i>	668,142	700,677	-32,535	835,178	725,088	110,090
<i>Quercus</i>	56,174	52,516	3,658	80,248	71,456	8,793
<i>Arbutus</i>	3,575	2,901	675	5,108	4,323	785

Cuadro 2.16. Inventario en m³ con ME para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados por género.

Género	Volumen Rollo Total Árbol m ³			Volumen Total Árbol m ³		
	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor
<i>Abies</i>	147,740	132,733	15,007	196,987	134,549	62,438
<i>Pinus</i>	677,152	710,291	-33,139	846,440	734,934	111,507
<i>Quercus</i>	54,476	50,868	3,607	77,823	69,274	8,549
<i>Arbutus</i>	3,255	2,646	609	4,650	3,942	708

2.5.3 Volumen por especies más representativas (*Pinus patula* y *P. teocote*) V_{RTA} y V_{TA} a nivel regional y predial

Se analizaron las dos especies más abundantes encontradas en la región, estas son *Pinus patula* (grupo 1 del INF) y *P. teocote* (grupo 2 del INF). Es de notar que para los estimadores MSA y ME, en *P. patula* SiBiFor calcula un mayor volumen en V_{RTA} y que estas diferencias son estadísticamente significativas con ambos estimadores (Figura 2.11) mientras que para *P. teocote* ambos sistemas biométricos calculan de manera similar el V_{RTA} (Figura 2.12). En el V_{TA} la situación cambia, para *P. patula* son 17 m³/ha⁻¹ de diferencia promedio entre sistemas INF-SiBiFor y para *P. teocote* es de 1 m³ ha⁻¹ entre sistemas biométricos (Figura 2.13 y 2.14).

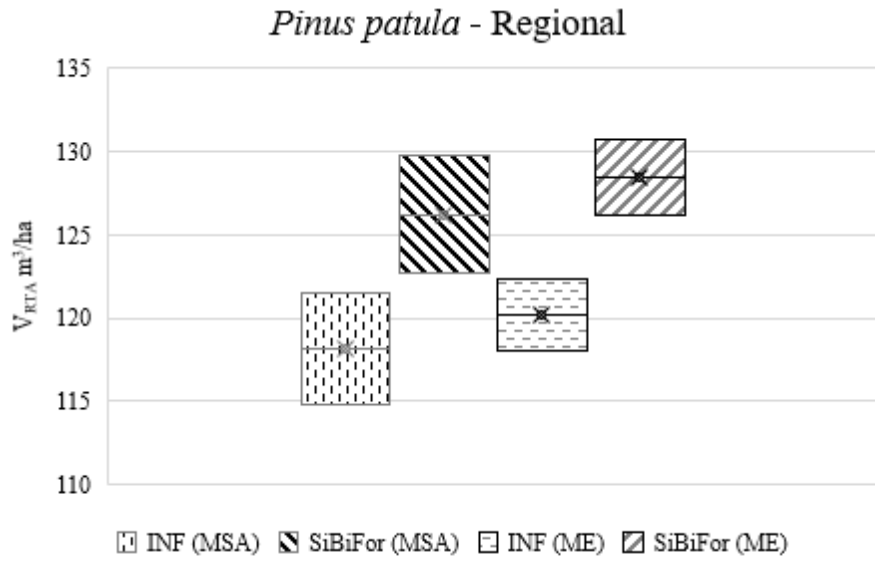


Figura 2.11. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} , para *Pinus patula* con MSA y ME a nivel regional.

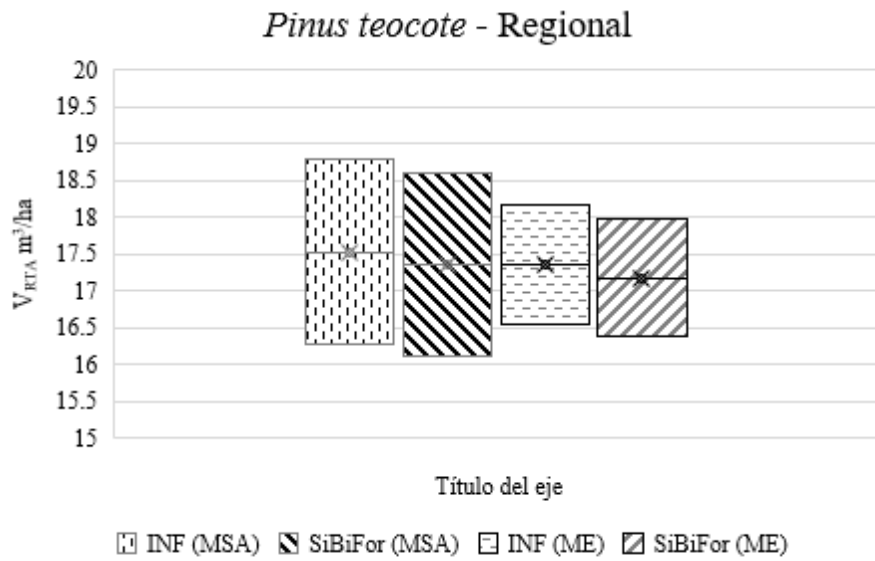


Figura 2.12. Comparación gráfica de los IC del V_{RTA} , para *Pinus teocote* con MSA y ME a nivel regional.

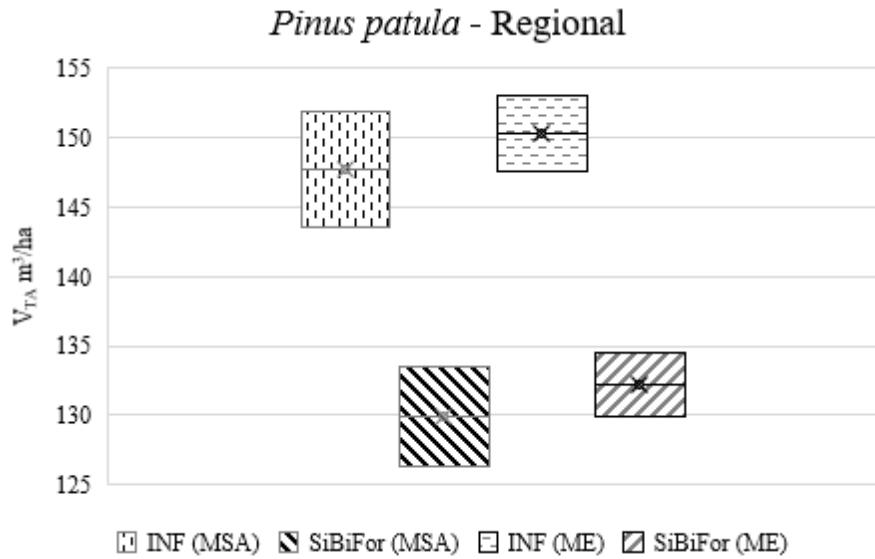


Figura 2.13. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} , para *Pinus patula* con MSA y ME a nivel regional.

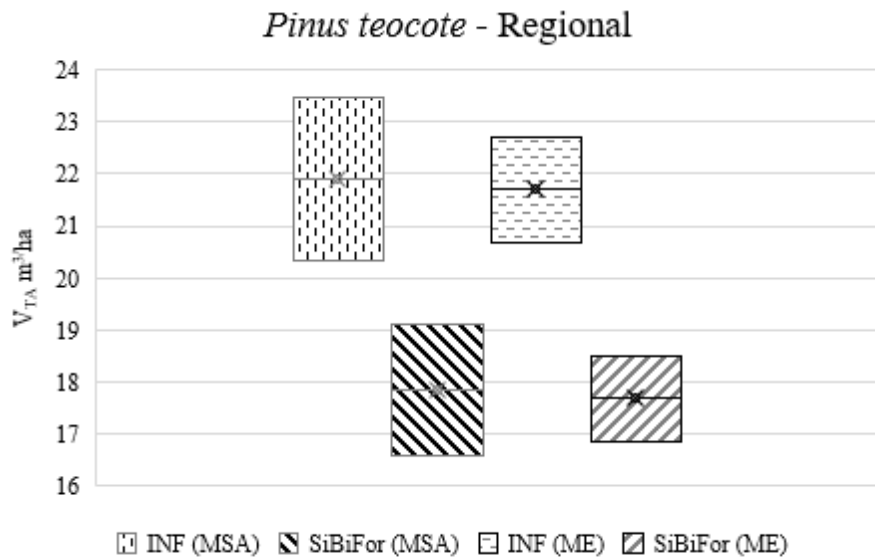


Figura 2.14. Comparación gráfica de los IC del V_{TA} , para *Pinus teocote* con MSA y ME a nivel regional.

A pesar de las diferencias regionales, las estimaciones por predio para el V_{RTA} no presentaron diferencias con ningún estimador de muestreo (Cuadro 2.17 y 2.18). Sin embargo, en V_{TA} con MSA *P. patula* sugieren que cinco predios presentan diferencias entre sistemas biométricos mientras que para *P. teocote* solo en dos predios sugieren esto (Cuadro 2.19). Cuando

se utiliza el estimador estratificado y se logra una mejor agrupación de la variabilidad se tiene que para *P. patula* diez predios mostraron diferencias entre sistemas y para *P. teocote* solo en tres para el V_{TA} predial (Cuadro 2.20).

Cuadro 2.17. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de *Pinus patula* y *P. teocote* V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Traslape 95%
<i>Pinus patula</i>								
30.0	25.0	20.1	19.8%	32.4	27.0	21.6	19.9%	T
157.8	144.8	131.8	9.0%	166.9	153.3	139.6	8.9%	T
116.9	106.1	95.3	10.2%	124.8	113.4	102.0	10.1%	T
185.0	173.6	162.2	6.5%	195.7	183.7	171.8	6.5%	T
176.9	157.1	137.3	12.6%	194.4	172.7	150.9	12.6%	T
128.9	110.7	92.5	16.5%	135.8	116.4	97.0	16.7%	T
177.3	155.1	132.8	14.3%	186.0	162.8	139.6	14.2%	T
103.9	91.8	79.7	13.1%	109.7	96.9	84.2	13.2%	T
137.5	123.9	110.4	10.9%	145.5	131.2	116.9	10.9%	T
89.9	81.5	73.0	10.4%	97.9	88.7	79.6	10.3%	T
195.3	186.9	178.6	4.5%	209.0	200.2	191.5	4.4%	T
48.9	35.9	22.8	36.4%	54.9	40.3	25.6	36.4%	T
<i>Pinus teocote</i>								
55.4	49.3	43.2	12.4%	54.5	48.5	42.5	12.3%	T
7.5	5.8	4.1	29.8%	7.6	5.8	4.1	29.6%	T
31.2	27.8	24.4	12.2%	30.9	27.5	24.2	12.1%	T
19.7	15.5	11.3	26.9%	19.8	15.6	11.4	26.9%	T
38.7	31.2	23.7	24.0%	38.6	31.2	23.8	23.8%	T
77.6	61.7	45.8	25.8%	75.8	60.3	44.7	25.8%	T
6.2	4.5	2.7	39.9%	6.2	4.5	2.7	39.5%	T
0.2	0.1	-0.1	197.0%	0.2	0.1	-0.1	196.7%	T
0.4	0.2	0.0	94.4%	0.4	0.2	0.0	94.2%	T
6.8	5.4	4.0	26.1%	6.7	5.3	3.9	26.0%	T
1.0	0.6	0.3	57.5%	1.0	0.6	0.3	57.3%	T
32.3	26.4	20.5	22.3%	32.4	26.6	20.8	21.9%	T

Cuadro 2.18. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de *Pinus patula* y *P. teocote* V_{RTA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	
<i>Pinus patula</i>								
26.1	23.6	21.0	10.9%	28.2	25.4	22.7	10.7%	T
155.5	146.8	138.2	5.9%	164.8	155.6	146.4	5.9%	T
116.8	111.3	105.8	4.9%	124.6	118.9	113.3	4.8%	T
183.6	175.6	167.5	4.6%	194.5	185.9	177.3	4.6%	T
176.7	162.9	149.0	8.5%	194.2	179.0	163.7	8.5%	T
119.4	107.0	94.6	11.6%	125.4	112.3	99.3	11.6%	T
169.0	158.1	147.2	6.9%	177.1	165.7	154.3	6.9%	T
98.9	88.9	78.9	11.2%	104.5	94.0	83.4	11.2%	T
134.6	124.9	115.2	7.7%	142.4	132.2	122.0	7.7%	T
92.3	85.2	78.2	8.3%	100.6	93.1	85.5	8.1%	T
194.7	189.5	184.4	2.7%	208.3	202.8	197.3	2.7%	T
56.7	44.3	31.8	28.2%	63.9	49.7	35.6	28.5%	T
<i>Pinus teocote</i>								
52.0	48.6	45.2	7.0%	51.2	47.8	44.5	7.0%	T
7.2	5.9	4.5	23.0%	7.2	5.9	4.6	22.7%	T
29.9	27.4	24.9	9.0%	29.5	27.1	24.7	9.0%	T
18.4	15.8	13.2	16.6%	18.6	15.9	13.3	16.6%	T
35.2	29.8	24.4	18.1%	35.1	29.7	24.4	18.1%	T
77.9	65.0	52.1	19.8%	76.1	63.5	50.9	19.8%	T
6.3	4.8	3.2	31.8%	6.2	4.7	3.2	31.4%	T
0.2	0.1	0.0	177.9%	0.1	0.1	0.0	177.5%	T
0.3	0.2	0.0	78.2%	0.3	0.2	0.0	78.0%	T
5.9	5.0	4.0	19.2%	5.9	4.9	4.0	19.2%	T
0.9	0.6	0.3	49.6%	0.9	0.6	0.3	49.4%	T
31.5	25.2	18.8	25.3%	31.7	25.4	19.1	24.9%	T

Cuadro 2.19. Estimadores del MSA y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de *Pinus patula* y *P. teocote* V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	
<i>Pinus patula</i>								
37.5	31.3	25.1	19.8%	33.6	28.0	22.4	19.9%	T
197.2	181.0	164.7	9.0%	171.7	157.7	143.7	8.9%	NT
146.1	132.6	119.1	10.2%	128.7	117.0	105.2	10.1%	NT
231.2	217.0	202.8	6.5%	201.4	189.2	176.9	6.5%	NT
221.2	196.4	171.7	12.6%	200.2	177.8	155.5	12.6%	T
161.1	138.3	115.6	16.5%	139.9	119.9	100.0	16.6%	T
221.6	193.8	166.0	14.3%	190.7	167.0	143.3	14.2%	T
129.8	114.7	99.7	13.1%	113.1	100.0	86.9	13.1%	T
171.8	154.9	138.0	10.9%	149.4	134.7	120.0	10.9%	NT
112.4	101.8	91.3	10.4%	101.0	91.6	82.2	10.3%	T
244.1	233.7	223.3	4.5%	215.0	206.0	197.0	4.4%	NT
61.2	44.9	28.5	36.4%	56.9	41.7	26.6	36.4%	T
<i>Pinus teocote</i>								
69.3	61.6	54.0	12.4%	56.0	49.9	43.7	12.3%	NT
9.4	7.3	5.1	29.8%	7.8	6.0	4.3	29.5%	T
39.0	34.7	30.5	12.2%	31.8	28.3	24.9	12.1%	NT
24.6	19.4	14.2	26.9%	20.5	16.2	11.8	26.9%	T
48.4	39.0	29.7	24.0%	39.8	32.1	24.5	23.8%	T
97.0	77.1	57.2	25.8%	77.6	61.7	45.8	25.7%	T
7.8	5.6	3.3	39.9%	6.4	4.6	2.8	39.4%	T
0.3	0.1	-0.1	197.0%	0.2	0.1	-0.1	196.6%	T
0.5	0.3	0.0	94.4%	0.4	0.2	0.0	94.2%	T
8.5	6.7	5.0	26.1%	6.9	5.5	4.1	26.0%	T
1.2	0.8	0.3	57.5%	1.0	0.6	0.3	57.2%	T
40.4	33.0	25.6	22.3%	33.6	27.6	21.6	21.7%	T

Cuadro 2.20. Estimadores del ME y traslape de intervalos de confianza del 95 % para volúmenes de *Pinus patula* y *P. teocote* V_{TA} estimados por ha a nivel predial.

Inventario Nacional Forestal (1978)				Sistema Biométrico Forestal (2017)				Traslape 95%
Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	Media	+IC 95%	-IC 95%	EM	
<i>Pinus patula</i>								
32.6	29.4	26.3	10.9%	29.2	26.4	23.6	10.7%	T
194.3	183.5	172.8	5.9%	169.5	160.0	150.6	5.9%	NT
146.0	139.1	132.2	4.9%	128.5	122.7	116.9	4.7%	NT
229.5	219.4	209.3	4.6%	200.2	191.4	182.6	4.6%	NT
220.9	203.6	186.2	8.5%	200.0	184.3	168.7	8.5%	NT
149.3	133.8	118.2	11.6%	129.1	115.8	102.4	11.5%	NT
211.3	197.7	184.0	6.9%	181.5	169.9	158.2	6.8%	NT
123.6	111.1	98.7	11.2%	107.8	97.0	86.1	11.2%	NT
168.2	156.1	144.0	7.7%	146.2	135.7	125.2	7.7%	NT
115.3	106.5	97.7	8.3%	103.8	96.1	88.3	8.1%	NT
243.4	236.9	230.4	2.7%	214.3	208.6	203.0	2.7%	NT
70.9	55.3	39.7	28.2%	66.0	51.5	36.9	28.3%	T
<i>Pinus teocote</i>								
65.0	60.7	56.5	7.0%	52.5	49.1	45.7	7.0%	NT
9.0	7.3	5.6	23.0%	7.5	6.1	4.7	22.6%	T
37.3	34.2	31.1	9.0%	30.4	27.9	25.4	9.0%	NT
23.0	19.7	16.5	16.6%	19.2	16.5	13.7	16.6%	T
44.0	37.3	30.5	18.1%	36.2	30.6	25.1	18.1%	T
97.3	81.2	65.1	19.8%	77.9	65.0	52.2	19.8%	NT
7.8	5.9	4.1	31.8%	6.4	4.9	3.4	31.2%	T
0.2	0.1	-0.1	177.9%	0.2	0.1	0.0	177.2%	T
0.4	0.2	0.0	78.2%	0.3	0.2	0.0	77.9%	T
7.4	6.2	5.0	19.2%	6.1	5.1	4.1	19.1%	T
1.1	0.8	0.4	49.6%	0.9	0.6	0.3	49.4%	T
39.4	31.5	23.5	25.3%	33.0	26.5	19.9	24.6%	T

El inventario entre ambos sistemas para la totalidad de los predios sugiere que SiBiFor genera resultados más optimistas que INF (1978) para el V_{RTA} de *Pinus patula* y esta diferencia es estadísticamente significativa (Cuadro 2.21 y 2.22). No obstante, en el resto de los casos el sistema INF genera resultados optimistas cuando se compara con SiBiFor, pero es en el caso de V_{TA} que estas diferencias se magnifican considerablemente.

Cuadro 2.21. Inventario en m³ con MSA para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados para las especies *Pinus patula* y *P. teocote*.

Especie	Volumen Rollo Total árbol m ³			Volumen total árbol m ³		
	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor
<i>P. patula</i>	454,800	485,703	-30,903	568,500	500,116	68,384
<i>P. teocote</i>	67,444	66,771	674	84,305	68,726	15,579

Cuadro 2.22. Inventario en m³ con ME para ambos sistemas biométricos y estimadores a nivel del conjunto de predios analizados para las especies *Pinus patula* y *P. teocote*.

Especie	Volumen Rollo Total árbol m ³			Volumen total árbol m ³		
	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor	INF	SiBiFor	INF-SiBiFor
<i>P. patula</i>	462,744	494,240	-31,496	578,430	508,857	69,573
<i>P. teocote</i>	66,806	66,111	695	83,508	68,035	15,473

2.6 CONCLUSIONES

Los ejercicios realizados ofrecen evidencia empírica para entender el proceso de dispersión de la variabilidad causada por los sistemas biométricos en comparación. En el caso del V_{RTA} (volumen de fuste) el sistema INF es bastante general y los resultados a nivel regional y predial son consistentes entre sistemas (*Abies* es tal vez la excepción más notable a nivel regional, pero estas diferencias desaparecen a nivel predial). El uso de factores fijos para estimar el volumen de ramas por unidad métrica de V_{RTA} no solo genera estimadores más optimistas, sino que tiende a aumentar la variabilidad de la muestra. A nivel de predios relativamente pequeños, lo anterior llevará a considerar un mayor tamaño de muestra para poder cumplir con los requisitos de la NOM-152-SEMARNAT-2006 que establece un error de muestreo máximo de 10 %.

A nivel de volumen total INF ofrece una estimación de 180,000 m³ V_{TA} más optimista que usando SiBiFor lo que llevará a mayores volúmenes autorizados a nivel regional. Tomando como base los volúmenes V_{RTA} que son estadísticamente iguales y asumiendo una tasa anual de 3 % del crecimiento anualizado y las fórmulas clásicas para estimar intensidad de corta se tiene que esta

diferencia del volumen de ramas representa el 80 % de la posibilidad de corta estimada V_{RTA} para un ciclo de corta de 10 años (227,000 m³). Dado que la autoridad ambiental debería vigilar los procesos de sostenibilidad a largo plazo, un análisis de los inventarios históricos de los predios con manejo podría arrojar información sobre las consecuencias de asumir porcentajes fijos de ramas tanto en las existencias presentes como en los procesos de largo plazo.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES

Actualmente las actividades silvícolas en los bosques de la UMAFOR 2108 se concentran en el tercer y cuarto ciclo de corta, y en la mayoría de los predios se han realizado podas, lo que permite la obtención fustes más rectos y sin tantas ramas. En este contexto, la utilización del modelo INF para la estimación del volumen total es cuestionable dado que se generó con datos provenientes de bosques en los que prevalecía una condición silvícola diferente. De manera contraria, el muestreo realizado para desarrollar el SiBiFor se concentró en predios con historial de manejo de la densidad y que han aplicado podas. Es de considerar además que los modelos INF fueron originalmente diseñados para una gran escala y por ello se usan grupos amplios de especies en el ajuste de estos modelos, mientras que el SiBiFor cuenta con modelos que se elaboraron especialmente para las estimaciones por UMAFOR y por especie.

Una de las implicaciones de utilizar los modelos de INF, con su proporción fija de ramas, es la obtención de mayor volumen de V_{TA} . Considerar estos volúmenes mayores lleva a un mayor volumen en pie y en consecuencia mayores intensidades de corta. En el caso de V_{RTA} para *Pinus patula* una explicación plausible de estas diferencias es que el cultivo que la especie ha tenido durante más de 40 años parece haber mejorado la forma de los fustes.

Los estadísticos y métodos usados para el análisis comparativo realizado son una propuesta que se puede complementar con datos de campo independientes en zonas de aprovechamiento. También se puede utilizar una programación más compleja que permita realizar de manera más exhaustiva simulaciones de datos.

Realizar un inventario forestal es complejo, sin embargo, ya se cuenta con las herramientas necesarias para poder realizar estudios dasométricos adecuados. A medida que se automatizan los

cálculos de inventario vía plataformas remotas que integran modelos de volumen (por ejemplo, el Sistema de Planeación Forestal o SiPlaFor), para la elaboración y ejecución de planes de manejo forestal sustentable será inevitable la implementación de los modelos biométricos del SiBiFor que son los que usa esta plataforma.

En una nota adicional, el uso de modelos de volumen para estimar la biomasa forestal con fines de inventarios para obtener bonos de carbono nos llevaría sin duda a seleccionar los modelos más conservadores o mejor documentados para tener exitoso en la verificación para emitir bonos de carbono.

LITERATURA CITADA

- Barrón Sevilla, J. A. 2021. Biodiversidad y manejo forestal en la Sierra Norte de Puebla. Elementos 123 45-49.
- Corral-Rivas, S. y de J. Návar-Cháidez. 2009. Comparación de técnicas de estimación de volumen fustal total para cinco especies de pino de Durango, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1): 5-13.
- Correa, J. C. y E. Sierra. 2003. Intervalos de confianza para la comparación de proporciones. Revista Colombiana de Estadística. 26(1): 61-75.
- Cruz-Cobos, F., R. Mendía-Santana, A.A. Jiménez-Flores, J. A. Nájera-Luna y F. Cruz-García. 2016. Ecuaciones de volumen para *Arbutus* spp. (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. Investigación y Ciencia, 24(68): 41-47.
- Fierros, M. R., H. M. De los Santos-Posada, A. M. Fierros G., F. Cruz Cobos, L. Martínez Ángel, E. Velasco Bautista y G. Quiñonez B. 2018. Estimadores de muestreo para inventario de plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 9(47): 131-150.
- Kleeberg, H. F., y J. C. Ramos R. 2009. Aplicación de las técnicas de muestreo en los negocios y la industria. Ingeniería Industrial. (27): 11-40.
- Martínez-Ángel, L., H. M. De los Santos-Posadas, A. M. Fierros-González, F. Cruz-Cobos y G. Quiñonez-Barraza. 2019. Funciones compatibles de ahusamiento y volumen en una plantación forestal comercial de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen en Tlatlauquitepec, Puebla. Agrociencia 53: 381-401.
- Olivas García, J. M., H. Luján, H. G. González, S. Vázquez, J. C. Hernández y C. Luján. 2016. Desarrollo forestal comunitario sustentable en la región norte de México y su desafío en el contexto de la globalización. Madera y Bosques, 22(1): 37-51.
- Roldán-Cortés M. A., H. M. De los Santos-Posada, H. Ramírez M., J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez. y A. Velázquez M. 2013. Estimadores de muestreo para inventario de plantaciones forestales comerciales de eucalipto en el sureste mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(26): 38-57.
- Santiago-García, W., H. M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, J. J. Corral-Rivas, G. Rodríguez-Ortiz y E. Santiago-García. 2015. Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. Madera y Bosques 21 (3): 95-110.
- Santiago-García, W., G. Ángeles-Pérez, G. Quiñonez-Barraza, H. M. De los Santos-Posadas y G. Rodríguez-Ortiz. 2020. Avances y perspectivas en la modelación aplicada a la planeación forestal en México. Madera y Bosques 26 (2): 1-16.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1978. Inventario Forestal del Estado de Puebla. México. Núm. 44.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2008). NOM-152-SEMARNAT-2006. Que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. Diario Oficial de la Federación.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5064731&fecha=17/10/2008#gsc.tab=0
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2021. Anuario estadístico de la producción forestal 2018. México. 297 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018. Requerimiento Programa de manejo maderable, bitácora 21/C9-0523/03/18.
- Tadeo Noble, A. E., H. M. De Los Santos-Posada., H. M., G. Ángeles-Pérez., y J. A. Torres P. 2014. Muestreo por conglomerados para manejo forestal en el Ejido Noh Bec, Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(25):64-83.
- Torres-Rojo, J. M., R Moreno-Sánchez y M. A. Mendoza-Briseño. 2016. Sustainable forest management in Mexico. *Informes Forestales Actuales*. 2: 93-105.
- Vargas-Larreta, B., J. J. Corral-Rivas, O. A. Aguirre-Calderón, J. O. López-Martínez, H. M. De los Santos-Posadas, F. J. Zamudio-Sánchez, E. J. Treviño-Garza, M. Martínez-Salvador y C. Aguirre-Calderón. 2017. SiBiFor: Sistema Biométrico Forestal para el manejo de los bosques de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(3): 437-455.
- Vásquez-Bautista, N., F. J. Zamudio-Sánchez, A. A. Alvarado-Segura y J. L. Romo-Lozano. 2016. Forest biometric models in Hidalgo, México: state of the art. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22 (3): 351-367.