

XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ACTA DE DISERTACIONES Y TRABAJOS VOLUNTARIOS

14 Y 15 DE OCTUBRE DE 2021

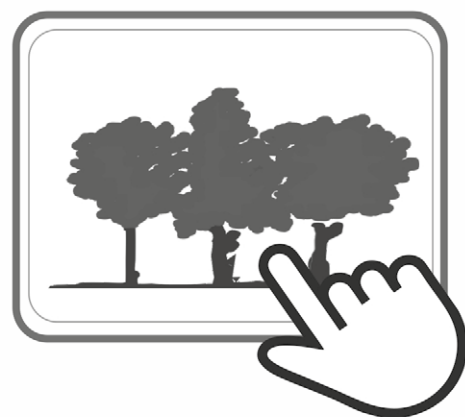
CONCORDIA, ENTRE RÍOS, ARGENTINA



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay





COMISIÓN ORGANIZADORA

COORDINACIÓN GENERAL

María de los Ángeles García

Sergio Orlando Ramos

ORGANIZACIÓN GENERAL

EEA Concordia-INTA: Carlos de la Peña, Carla S. Salto, Ciro Mastrandrea, Gustavo López, Javier Oberschelp, Leonel Harrand, María de los Ángeles García, María Noël Comparetto, Matías S. Martínez, Sergio O. Ramos.

AIANER: Paola Velázquez

Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial: Mario Flores Palenzona

UTN Concordia: Natalia Tesón

AFOA Regional Río Uruguay: Alejandro Guidici

Consorcio Forestal Río Uruguay (COFRU): Sebastián Alberti y Roberto Delasoie

COMISIÓN EVALUADORA DE TRABAJOS VOLUNTARIOS

Ing. Ftal. Aldo E. Keller. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dra. Ing. Ftal. Nardia M. Bulfe. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dr. Ing. Ftal. Miguel Ángel Sarmiento. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dra. Ing. Agr. Gabriela Ayala. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Agr. Javier Oberschelp. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Ftal. Javier Alejandro Alvarez. INTA, EEA Delta del Paraná, Buenos Aires.

Dra. Ing. Agr. Mónica B. Sagadin. Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, CIAP-INTA, Córdoba.

Dra. Ing. Agr. Natalia Tesón, Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Sebastián Kees. INTA, Campo Anexo Estación Forestal Plaza de la EEA Sáenz Peña, Chaco.

Ing. Ftal. Ciro A. Mastrandrea. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) María de los Ángeles García. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Agr. (MSc.) Sergio O. Ramos. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Leonel Harrand. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carla S. Salto. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carlos de la Peña. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. CPN. Luis María Vera. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Mario Flores Palenzona. NEF Concordia, Entre Ríos, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (MAGyP).

Diseño y diagramación: Lic. Sebastián Sarubi.

Fotos de tapa: Argentina Forestal, Gabriel de Ciancio, María de los A. García, Mario Flores.

ORGANIZADORES



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



PATROCINADORES





BIOMASA EN UNA CRONOSECUENCIA DE PLANTACIONES DE *Pinus radiata* (D. DON), EN LA REGIÓN PAMPEANA, ARGENTINA

Paula FERRERE¹ y Ana María LUPI²

RESUMEN

Las prácticas como la forestación y la reforestación podrían tener un gran impacto en el secuestro de CO₂. El objetivo de esta investigación fue cuantificar la biomasa en diferentes componentes de plantaciones de *Pinus radiata* de diferentes edades, localizadas en el SE de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Para el estudio se identificaron rodales en un primer ciclo forestal con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años. El rodal de 19 años se localiza sobre una duna costera y los restantes sobre suelos Argiudoles someros en Sierras de Tandil. En general, las plantaciones tienen alta densidad (1 111 plantas ha⁻¹ y 1 666 plantas ha⁻¹). Se establecieron parcelas para caracterizar el estado del rodal y se realizó un muestreo destructivo de 42 árboles. La biomasa aérea y la biomasa de raíz fueron de 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ en los rodales de 9 años y de 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹ a los 21 años. Los resultados sugieren que existe un potencial regional interesante para el secuestro de C en la biomasa aérea de las plantaciones de *Pinus radiata* y la generación de una actividad económica poco desarrollada en la zona.

Palabras claves: *biomasa aérea, biomasa de fuste, biomasa de raíz, secuestro de C*

1. INTRODUCCION

Una de las principales consecuencias de la pandemia en el mundo ha sido la de concientizarnos acerca de que el cambio climático (CC) es un hecho. Las temperaturas del aire y del océano han aumentado debido al efecto invernadero que provocan los gases que se acumulan en la atmósfera terrestre. Debido a que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (GEI) antropogénico, aumentar el secuestro de carbono mediante plantaciones forestales podría ser una estrategia para disminuir la concentración de carbono del aire (Keller et al., 2018). La biomasa es el depósito del C en los ecosistemas forestales (Fahey et al., 2010). Para determinar los stocks de C a nivel de sistema se requiere cuantificar la biomasa de cada componente. En el caso de una plantación se requieren ecuaciones de biomasa de las distintas fracciones del árbol. Para comprender el funcionamiento de los sistemas forestales y definir estrategias de manejo efectivas desde el punto de vista productivo y de los inventarios de C se requieren estimaciones o mediciones de todos los compartimentos del sistema. Es en este sentido que el estudio de los patrones de acumulación de biomasa durante el desarrollo de un sistema forestal fue mostrando un interés cada vez mayor por el rol estratégico que cumplen las plantaciones en el secuestro de C atmosférico. Sin embargo, a nivel regional no se disponen herramientas para su estimación y cuantificaciones que permitan orientar sobre el potencial de estos ecosistemas cuando reemplazan otros usos del suelo. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la biomasa almacenada en plantaciones de *Pinus radiata* de diferentes edades, del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos, ubicados en la región SE de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El clima de la zona se clasificó según Köppen-Geiger como Cfb, definido como templado, con precipitaciones durante todos los meses del año y temperaturas medias del mes más cálido, inferior a los 22 °C.

¹ AER 9 de Julio, EEA Pergamino. Mail: ferrere.paula@inta.gob.ar

² Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Mail: lupina.ana@inta.gob.ar.



Para el estudio se identificaron rodales de *Pinus radiata* en un primer ciclo forestal con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años, y 3 réplicas para cada edad. A excepción del rodal de 19 años que se localiza sobre una duna costera y reemplazó la vegetación marítima, los restantes se localizan sobre suelos Argiudoles que reemplazaron pastizales naturales. En general, las plantaciones tienen alta densidad, con espaciamientos iniciales de 2 m x 3 m (1666 plantas ha⁻¹) y 3 m x 3 m (1111 plantas ha⁻¹), con un manejo forestal deficiente, sin podas ni raleos que propicien un mayor tamaño individual por árbol para la obtención de productos para aserrado. En cada rodal se establecieron entre 3-6 parcelas de inventario de 400 m². Dentro de cada parcela se relevó el diámetro a la altura del pecho (dap; cm) de todos los árboles y la altura de los 4 árboles más gruesos, el árbol de dap medio y el árbol de menor dap. El modelo para la estimación de la altura del árbol individual (h;m) se ajustó con 219 pares dap-altura provenientes de distintos sitios y edades y tuvo la siguiente forma:

$$\ln h : -0,1841 + 0,35416 * \ln(dap) + 0,60322 * \ln(edad) \quad [1]$$

Para la estimación del volumen (v; m³) en cada árbol de la parcela se empleó ecuación 2:

$$v = -0,0093 + 0,00003521 * (dap2h) \quad [2]$$

Para cada individuo, el volumen se multiplicó por la densidad básica de la madera para obtener el peso del árbol (kg). La densidad se obtuvo a partir de un muestreo de 21 árboles. Se tomaron muestras de madera a 1,30 m con barrenos de Pressler. Para estimar la biomasa de hojas y ramas se realizó un muestreo destructivo de los 42 árboles. En cada árbol se midió el diámetro en la base de todas las ramas (dr). Se seleccionó al azar una rama por verticilo, se pesó por separado in situ la biomasa de hojas y ramas, y se preparó una submuestra de cada compartimento para secar en estufa a 65 °C hasta peso constante. Posteriormente se calculó el peso seco de las ramas muestreadas. Se ajustaron los siguientes modelos para la estimación de biomasa de hojas y ramas (kg), en función del diámetro de cada rama (dr; cm):

$$\ln MS \text{ ramas} = 2,72618 + 2,84436 * \ln(dr) \quad R^2_{aj}: 0,91 \quad [3]$$

$$\ln MS \text{ hojas} = 3,15001 + 1,83651 * \ln(dr) \quad R^2_{aj}: 0,75 \quad [4]$$

A partir de los datos de las ecuaciones [3] y [4] se estimó un valor de biomasa de hojas y ramas, cuya sumatoria constituye la biomasa total de hojas y ramas de cada árbol. Con dichos valores se ajustaron relaciones alométricas para estimar las fracciones de biomasa de hojas y ramas a partir del dap en cada árbol:

$$\ln MS \text{ ramas} = 4,1151 + 1,54295 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,59 \quad [5]$$

$$\ln MS \text{ hojas} = 2,36456 + 2,41072 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,68 \quad [6]$$

Para la estimación de la biomasa en raíces se muestrearon 24 árboles distribuidos en clases diamétricas. El muestreo de raíces se realizó con una excavadora y se completó con pico y pala desenterrando raíces de hasta 1 cm de diámetro, hasta los 40 cm de profundidad o hasta donde se presenta la tosca en caso de su presencia. Se limpiaron, se pesaron en una báscula a campo (precisión de 1 kg) y se reservó una muestra para determinar la materia seca (65 °C hasta peso constante). Se ajustó un modelo de la siguiente forma

$$\ln MS \text{ raiz} = -3,33785 + 2,12634 * \ln(dap) \quad R^2_{aj}: 0,88 \quad [7]$$

La biomasa total a nivel de rodal fue calculada a partir de la sumatoria de la biomasa aérea (hojas + ramas + fuste) y subterránea de cada árbol en las parcelas muestreadas y extrapoladas a la superficie de la hectárea.

$$BT = \sum_{i=n}^n [BH + BRa + BF + BR] \quad [8]$$

donde: BT: biomasa total (Mg.ha⁻¹), BH: biomasa de hojas (Mg.ha⁻¹), BF: biomasa de fuste (Mg.ha⁻¹), BRa: biomasa de ramas (Mg.ha⁻¹) y BR: biomasa de raíces (Mg.ha⁻¹). La cantidad de C se calculó asumiendo que el 50% de la biomasa es C (IPCC, 2006).



Para evaluar las diferencias de cada variable se aplicó análisis de varianza (ANOVA) y cuando las diferencias fueron significativas se aplicó el test de Tukey al nivel de significancia de 0,05. Se realizaron también análisis de correlación de Pearson. Para estos análisis y para desarrollar las ecuaciones alométricas se empleó el paquete de software Infostat (versión libre 2008).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las ecuaciones de la Tabla 1 se estimó la biomasa de cada componente (hojas, ramas y raíces) para cada rodal. La biomasa total, la biomasa aérea y la biomasa de raíz en los rodales de 9 años fueron de 49,49; 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ respectivamente y resultaron significativamente mayores (P<0,05) en los rodales de 21 años, con valores de 226,81, 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹. La biomasa del fuste varió de 24,80 a 147,92 Mg.ha⁻¹ desde los 9 a los 21 años. La biomasa en hojas varió (P<0,05) desde los 9 a los 13 años, pero los incrementos no fueron significativos entre los 13 y 21 años. En este componente la biomasa pasó de 3,50 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años a 8,99 y 9,35 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 13 y 21 años. Para la biomasa en ramas, hubo diferencias significativas (P<0,05) entre los 9 y 13 años, pero no se detectaron cambios a edades mayores. En esta fracción la biomasa fue de 8,25 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años, en tanto que fue de 25 y 29,9 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 13 y 21 años. La biomasa de todos los componentes del árbol no fue diferente (P>0,05) entre los rodales de 13, 15 y 19 años. A su vez, no se observan diferencias significativas entre los rodales de 19 y 21 años.

Tabla 1. Biomasa -Mg ha⁻¹- de los componentes del ecosistema (valores medios y error estándar). Letras distintas reflejan diferencias estadísticamente significativas a p < 0,05.

Fracciones	Edad (años)				
	9	13	15	19	21
Aérea	36,55±4,39 a	112,51±13,77 b	133,23±2,28 bc	157,91±18,40 bc	187,19±33,6 c
Hojas	3,50±0,35 a	8,99±0,1 b	8,69±0,20 b	9,41±0,62 b	9,35±1,04 b
Ramas	8,25±1,34 a	22,34±0,06 b	24,10±0,40 b	26,69±3,31 b	29,94±3,09 b
Fuste	24,80±2,71 a	81,18±1,72 b	100,44±1,67 b	121,82±4,84 bc	147,92±5,26 c
Raíces	12,95±0,88 a	31,36±0,74 b	32,09±0,91 b	36,31±3,56 b	39,62±3,47 b
Total	49,49±84,89a	143,87±2,60 b	165,32±3,12 bc	194,22±31,96bc	226,81±22,79c

La proporción de la biomasa de cada componente en relación a la biomasa total, para cada edad varió levemente en el ciclo de edades analizadas. El patrón de asignación por componente fue hojas<ramas<raíz<fuste. Para los componentes raíz y hojas se observó una reducción en la proporción con la edad. La proporción para la fracción hojas fue de 7,07 % a los 9 años y de 4,9 % a los 21 años, para las ramas se mantuvo similar (16,9 % aproximadamente) y en el caso de la raíz cambió de 26,17 % a 17,47 % entre los 9 a 21 años. Por el contrario, la proporción de biomasa en el fuste cambió del 50,11% a 79,02 % de los 9 a los 21 años respectivamente. La proporción biomasa de raíz/biomasa de fuste fue de 52 %, 38 %, 32 %, 30 % y 27 % a los 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente.

Los resultados muestran que la biomasa de los rodales de *Pinus radiata* evaluados en nuestro estudio es inferior a los valores informados por Álvarez et al. (2013) para esta misma especie cultivada en Chile.

La edad es el factor más importante que afecta la magnitud y distribución de la biomasa en el sistema forestal (Peichl y Arain 2006; Lee et al., 2016). En la cronosecuencia estudiada, la biomasa de todos los componentes aumenta de la edad del rodal (Tabla 2) y esto fue consistente con los resultados informados en estudios previos sobre otras coníferas (Zhang et al., 2019; Lee et al., 2016). Otros estudios realizados en España en plantaciones de *Pinus radiata* también muestran el efecto de la edad sobre la magnitud de la biomasa (Merino et al., 2003). Dichos autores reportan valores de 149 Mg ha⁻¹ en un rodal de 19 años y 170,6 Mg ha⁻¹ y 139,4 Mg ha⁻¹ en rodales de 20 años. Estos valores son comparables a los reportados en nuestros rodales de 21 años y superiores si se comparan con el rodal



de 19 años. Las diferencias podrían atribuirse a las diferencias en la fertilidad del suelo. Mientras los autores trabajaron sobre un suelo de textura franco-arenosa, en nuestro caso el rodal de 19 años se localizó sobre una duna.

Los cambios en la proporción de la biomasa de hojas y ramas con la edad del rodal son menores a los reportados Zhang et al. (2019), posiblemente debido a que en nuestro trabajo no se incluyeron plantaciones en estadios iniciales, donde las componentes hojas y ramas tienen una mayor importancia. La variación en la proporción de la biomasa del fuste en relación a la biomasa aérea fue inferior a lo reportado por Muñoz Riveros et al. (2005) en un estudio realizado en una plantación de 42 años de *Pinus radiata* en Chile, donde la proporción fue del 89 %. Las diferencias pueden ser atribuidas a la menor edad de las plantaciones evaluadas en nuestro estudio. Zhang indica que para *P. palustris* la variación fue del 22 % al 54 % desde los 12 a los 58 años.

Dada la complejidad y laboriosidad del muestreo es frecuente estimar la biomasa de raíz a partir de la relación biomasa raíz/ biomasa de fuste tomando un factor de 0,20 (Birdsey, 1993; Brown et al., 1993). En nuestro trabajo la relación biomasa raíz/fuste descendió con el aumento de la edad del rodal desde 0,52 a 0,27, como resultado de la fuerte acumulación de biomasa en el fuste. Gholz y Fisher (1982) también determinaron que la proporción biomasa de raíz gruesa/biomasa de fuste disminuyó con el aumento de la biomasa aérea de *Pinus elliotii*. Para plantaciones jóvenes de *P. taeda* (7 a 18 años) Albaugh et al. (2006) informan una proporción del 50 %, valor similar a lo hallado en el rodal de 9 años de nuestro trabajo.

Assumiendo que la mitad de la biomasa es C, la tasa de acumulación de C en la biomasa aérea fue de 2,0; 4,3; 4,4; 4,1 y 4,5 Mg C.ha⁻¹.año⁻¹, para las plantaciones de 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente. Estos valores son comparables a los reportados por Balboa-Murias et al. (2006) para plantaciones de *Pinus radiata* en España. Según los autores la tasa de secuestro de carbono en la biomasa total de árboles en toda la rotación osciló entre 3,4 Mg C. ha⁻¹ año⁻¹ a 5,9 Mg C. ha⁻¹ año⁻¹, siendo la densidad inicial, la calidad de sitio y el manejo forestal las causas de dicha variación. Como se observa, la tasa de acumulación de C no difiere sustancialmente a partir de los 13 años.

En un análisis simplificado se podría pensar que con un turno de 13 o 15 años se maximiza la tasa de secuestro de C en el sistema. Sin embargo, en términos de un manejo forestal que considere la generación de bienes y servicios, definir un turno de 21 años y que la producción de madera se destine al aserrado, determinará la permanencia del carbono por más tiempo en comparación con lo que sucedería en un aprovechamiento temprano, donde la biomasa se destinaría a dendroenergía o triturado.

4. CONCLUSIONES

Para todas las edades analizadas, el patrón de asignación de la biomasa por componente de *Pinus radiata* fue hojas<ramas<raíz<fuste. La edad de la plantación se asoció fuertemente con la biomasa aérea del árbol. La biomasa total del rodal, la biomasa aérea y la biomasa de raíz fue de 49,49; 36,55 y 12,95 Mg.ha⁻¹ en los rodales de 9 años y de 226,81; 187,19 y 39,62 Mg.ha⁻¹ a los 21 años. La biomasa del fuste varió de 24,80 a 147,92 Mg.ha⁻¹ desde los 9 a los 21 años. La biomasa en hojas pasó de 3,50 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 9 años a 9,35 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 21 años. La biomasa en ramas fue de 8,25 Mg. ha⁻¹ en el rodal de 9 años, en tanto que fue de 29,94 Mg.ha⁻¹ en el rodal de 21 años.

5. AGRADECIMIENTOS

A Vicente Nakama, Adelqui Alfieri, Luis Gomez, Pablo Cuenca, Norberto Fernandez por el apoyo en las actividades de campo. A Ingrid Kaufman por la colaboración brindada. El proyecto ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Forestal de Desarrollo y el Proyecto nacional INTA PNFOR 2215.

6. BIBLIOGRAFIA

ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H.L.; KRESS, L.W. 2006. Root and stem partitioning of *Pinus taeda*. *Trees*, 20: 176–185. doi:10.1007/s00468-005-0024-4.



- ÁLVAREZ, J.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; STAPE, J. L.; BULLOCK, B. P.; SONG, C. 2013. Factors influencing the growth of radiata pine plantations in Chile. *Forestry*, 86(1), 13-26.
- BALBOA-MURIAS, MA; R. RODRÍGUEZMURIAS, MA; R. RODRÍGUEZ-SOALLEIRO; A. MERINO; JG. ÁLVAREZSOALLEIRO; A. MERINO; JG. ÁLVAREZ-GONZÁLEZ. 2006. Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives. *For. Ecol. and Manage*, 237(1-3), 29-38.
- BIRDSEY, R. A.; PLANTINGA, A. J.; HEATH, L. S. 1993. Past and prospective carbon storage in United States forests. *Forest Ecology and Management*, 58(1-2), 33-40.
- BROWN, S.; IVERSON, L.R.; PRASDA, A.; LIU, D. 1993. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests. *Geocarto Int.* 8: 45–59. doi:10.1080/10106049309354429
- FAHEY, T.J.; WOODBURY, P.B.; BATTLES, J.J.; GOODALE, C.L.; HAMBURG, S.P.; OLLINGER, S.V.; WOODALL, C.W. 2010. Forest Carbon storage: Ecology, management, and policy. *Front. Ecol. Environ.* 2010, 8, 245–252.
- GHOLZ, H.L.; FISHER, R.F. 1982. Organic matter production and distribution in slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. *Ecology*, 63: 1827–1839. doi:10.2307/1940124
- KELLER, D.P.; LENTON, A.; LITTLETON, E.W.; OSCHLIES, A.; SCOTT, V.; VAUGHAN, N.E. 2018. The effects of carbon dioxide removal on the carbon cycle. *Curr. Clim. Chang. Rep.* 4, 250–265
- LEE, J.; TOLUNAY, D.; MAKINECI, E.; CÖMEZ, A.; SON, Y.M.; KIM, R.; SON, Y. 2016. Estimating the age-dependent changes in carbon stocks of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Turkey. *Ann. For. Sci.* 2016, 73, 523–531.
- MERINO, A.; REY, C.; BRAÑAS, J.; R RODRIGUEZ-SOALLEIRO. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantación de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12 (2) 85-98.
- ZHANG, X.; HAN, H.; SHI, Z.; YANG, X. 2019. Biomass Accumulation and Carbon Sequestration in an Age-Sequence of Mongolian Pine Plantations in Horqin Sandy Land, China. *Forests* 2019, 10, 197; doi:10.3390/f10020197