

Diferente calidad de estación en una plantación de *Populus deltoides* cv *Catfish 2* del Bajo Delta bonaerense del Río Paraná (Argentina)

E.A. Casaubon *¹, L.B. Gurini¹, G.R. Cueto²

¹ E.E.A. DELTA DEL PARANÁ-INTA. C.C. 14, CP 2804. Campana. Buenos Aires. ARGENTINA

² Dpto. de Biología. F.C.E.N.-U.B.A. Lab.104, 4to. Piso, Pabellón II, Ciudad Universitaria. CP 1428 Buenos Aires. ARGENTINA

ecasaubon@utenet.com.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la calidad de estación forestal, en una plantación comercial de 12 años de edad, de *Populus deltoides* cv *Catfish 2*, ubicada en un campo endicado en el Delta del Paraná utilizando métodos directos e indirectos de evaluación. En el primer caso se consideró la altura media dominante a través del desarrollo de una familia de curvas altura edad, en la cual el índice de sitio es la altura dominante a una edad de 9 años considerada como edad base (EB). El modelo Logístico presentó el mejor ajuste. La función seleccionada adoptó los siguientes valores:

$$\text{Altura dominante} = IE * (1 + \exp(2.78 - 0.504 * 9)) / (1 + \exp(2.78 - 0.504 * \text{Edad})).$$

Como método indirecto se estudió la vegetación natural en relación con la altura de las plantas dominantes, y el suelo.

La mayor productividad (519 m³/ha), mayor área basal (44 m²/ha) y mayor altura de planta dominante (30,10 m), se dio en un terreno alto; y la menor productividad (79,2 m³/ha), menor área basal (9 m²/ha) y menor altura de planta dominante (23,45 m), en terrenos de relieve muy bajo. En los bañados protegidos por un dique y con mal manejo del agua se produjo un mayor vuelco de plantas por el viento durante el periodo vegetativo. A partir del análisis multivariado (DCA) de los censos en función de la vegetación se detectó la existencia de especies vegetales indicadoras de la calidad de sitio.

PALABRAS CLAVE: Producción maderable
Populus deltoides
Salicaceae
Delta
Río Paraná
Argentina

* Autor para correspondencia

Recibido: 23-6-99

Aceptado para su publicación: 23-7-01

INTRODUCCIÓN

El Delta del Río Paraná está ubicado en la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay con el río de La Plata y ocupa una superficie de aproximadamente 1.750.000 ha, entre las latitudes de 32° 5' y 34° 29' S y 58° 22' y 60° 45' de longitud W. Es una llanura anegadiza formada por depósitos fluviales de niveles muy variables. Numerosos ríos y arroyos la atraviesan y la dividen en islas con una parte perimetral más elevada denominada localmente «albardón», y otra central más baja, el «bañado», «estero» o «pajonal», ambos sectores representan el 20 y el 80 % respectivamente. Entre el sector alto de albardón y los muy bajos de bañado existe un desnivel de aproximadamente 80 cm a 1 m. A la posición intermedia se la denomina «semialbardón» (Delta del Paraná, 1973).

Bonfils (1962) zonificó los suelos de la región, y los subdividió en: Delta Antiguo, Predelta, Bajíos Ribereños y Bajo Delta. La parte bonaerense del Bajo Delta conforma la porción terminal del Delta de Río Paraná, donde este río se abre en dos distributarios principales, el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas y ocupa una superficie de 207.106 ha (Latinoconsult, 1972). Teniendo en cuenta patrones de paisaje y el régimen hidrológico, Kandus (1997), diferenció para el Bajo Delta Bonaerense 3 unidades de paisaje, A- Unidad de grandes islas, B- Delta frontal y C- Frente de avance.

Bonfils (1962) señaló que los materiales litológicos que dieron origen a estos suelos, son limos fluviales y fluviolacustres de color pardo amarillento. Estos suelos por ser tan jóvenes no presentan ningún desarrollo de horizontes genéticos ni diagnósticos, sino capas de decantación de materiales (Gomez, 1999).

El Delta del Paraná concentra las mayores plantaciones de Salicáceas del país (Petry, 2000), y constituye a su vez la actividad de mayor trascendencia económica de la región (SAGPyA, 1999).

El Delta en su estado natural no permite el desarrollo de actividades productivas, debido a las condiciones de anegamiento y excesiva acidez (Delta del Paraná, 1973), el manejo del terreno con un nivel aceptable de riesgo está muy relacionado con el manejo del agua. Antes de plantar es necesario realizar obras de sistematización, mediante la construcción de canales y zanjas de desagüe de diferentes tamaños, y/o la construcción de terraplenes a lo largo de las costas (denominados localmente «diques» y «atajarrepuntes»), que impiden el ingreso del agua proveniente de inundaciones de cierta magnitud y frecuencia.

Aproximadamente sesenta y cinco mil trescientas hectáreas del Bajo Delta se destinan al cultivo de Salicáceas. Se calcula que 14.000 están plantadas con álamos y las restantes con sauces (Arreghini *et al.*, 1996). En general los álamos (*Populus sp.*) se plantan en los terrenos más altos (albardones) y representan un 20 % de la superficie de la región, y en sectores bajos sistematizados.

El clima del Delta es templado húmedo, sin estación seca (De Fina y Ravelo, 1979). La temperatura media anual oscila entre 16° y 17° La media de verano entre 22° y 23° y la de invierno entre 11° y 12° La temperatura mínima puede llegar a -5° y las máxima a 36°-38° Los meses de octubre a mayo se presentan libres de heladas agrometeorológicas.

El régimen pluviométrico es del tipo isohígro. Si bien las lluvias se hallan repartidas durante el año, se registran picos de mayor precipitación en el mes de marzo y una disminución de los valores en los meses de junio, julio y agosto. El promedio de precipitaciones es de 1.014,8 mm. En general coinciden los meses más cálidos con los más lluviosos y los más fríos con los de menores precipitaciones. La humedad relativa media anual es

elevada todo el año (76 %), debido a la cercanía al Río de la Plata y al gran número de ríos y arroyos que conforman el Delta.

Los vientos son generalmente suaves, la media anual es de 4,0 km/hora. El mes más ventoso es septiembre, 5,4 km/hora, y el menos ventoso es abril, 2,7 km/hora. Predominan los vientos del sector NE en la cuatro estaciones, siguiéndoles los del cuadrante SE y SO con menor frecuencia. El régimen eólico influye en el comportamiento del sistema hídrico alterando el nivel hidrométrico de sus ríos. Los vientos del sector NO favorecen las bajantes y los de SE frenan la velocidad de salida del agua provocando crecientes de cierta magnitud.

Los balances hídricos indican que a pesar de ser los veranos más lluviosos, ocurren durante los mismos situaciones de déficit hídrico por mayor duración del día, mayor heliofanía, dependiendo asimismo de las diferentes vías de ingreso y egreso del agua a la propiedad, de variaciones de la temperatura a escala microclimática, etc. (Malvárez, 1997; Kandus, 1997 y Berrondo, 2000),

El *Populus deltoides* cv *Catfish 2* es un álamo originario de Bolivar County, Stoneville, E.E.U.U., que fue introducido al país por la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en el año 1961 (Alonzo, 1991). Fue uno de los dos álamos más plantados en el Delta del río Paraná (Petray, 1997a, 1997b) por sus altos rindes y la facilidad de enraizamiento de los materiales de multiplicación. Los incrementos volumétricos considerados promedios para las Salicáceas en la zona son de 20 a 25 m³/ha/año, y varían considerablemente con la calidad de estación, en consecuencia, evaluar la capacidad productiva de una estación forestal es muy importante para realizar estudios de crecimiento y producción y análisis de rentabilidad de una plantación.

Daniel *et al.* (1982), definen la calidad de sitio o calidad de estación como la suma de factores ambientales tales como la profundidad del suelo, su textura, la característica de su perfil, su composición mineral, lo pronunciado de sus pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él, etc. Para Trower (1989), calidad de estación es la capacidad de los suelos forestales para el cultivo de los árboles.

En el presente trabajo se analizó la calidad de estación utilizando métodos directos e indirectos de evaluación. Según Clutter (1983), los métodos directos utilizan alguna característica de los individuos de la especie de interés cuando crecen en la estación bajo estudio. Una variable que aparece como la más razonable es el volumen por árbol, pero el mismo está afectado por la densidad del rodal. Actualmente la altura media dominante es un parámetro muy empleado para indicar la calidad de estación y se utilizó en esta oportunidad a través del desarrollo de una familia de curvas altura edad, donde el índice de estación (IE) es la altura dominante a una determinada edad o edad base (EB) (Fassola, Wabo, 1993; Fassola *et al.*, 1993).

Los métodos indirectos evalúan la calidad de estación a través de los factores del medio ambiente, incluyen a la vegetación natural cuyo valor fue reconocido por Hodgkins en 1960, como una base objetiva para la determinación de la calidad de estación, para pino en Alabama, EE.UU. Este método ha demostrado que la vegetación puede reflejar la calidad de estación de una zona. Como antecedentes en Argentina y específicamente en el Delta, Malvárez en 1992 estableció una regionalización del Delta del Río Paraná definiendo 9 unidades diferenciadas por su situación de inundación, cursos de agua presentes y comunidades vegetales predominantes. Posteriormente Malvárez *et al.* (1989-1995), realizaron numerosos trabajos en las zonas anteriormente definidas, analizando la heterogenei-

dad natural y provocada por la intervención humana. Durante los años 1990-95 (Beznati, 1995) se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Delta de INTA, un trabajo de análisis de los cambios en las comunidades vegetales ocasionados por la construcción de diques en un sector de islas, y a partir de 1990 en la misma unidad comenzaron a estudiarse las relaciones entre la presencia de especies vegetales y factores del ambiente, como relieve, manejo del agua y del suelo y la productividad forestal. En 1997, Kandus y Malvárez presentaron sendos trabajos de Tesis, referentes a patrones de vegetación en relación a factores ambientales y de paisaje.

En 1993 Casaubón *et al.* mencionaron volúmenes promedios para *Populus deltoides* cv *Catfish 2*, de 0,72 m³ por planta (38 m³/ha/año), en un ensayo orientativo de rendimientos de 15 años de edad, en el Arroyo Las Piedras (IV Sección de Islas del Delta Bonaerense) en un terreno protegido por un ataja repunte, y en 1996 analizaron la relación existente entre la productividad del *Populus deltoides* cv *Catfish 2* y el 217/68, con el suelo, las comunidades vegetales y el relieve del terreno.

El objetivo del trabajo consiste en generar información de productividad para el Bajo Delta del Río Paraná, que facilite la elección de estaciones más adecuada para el cultivo del *Populus deltoides* cv *Catfish-2*.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una plantación de *Populus deltoides* cv *Catfish 2*, de aproximadamente 7 has y de 12 años de edad, en la Estación Forestal Sarmiento, propiedad de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentación (SAGPyA), ubicada sobre el A.º Méndez Grande, en la 1.º Sección de Islas del Bajo Delta Bonaerense. Esta plantación se ubica en la unidad de paisaje denominada «Delta Frontal», que ocupa una superficie de 92.036,13 ha y presenta como característica el estar sometida al régimen de mareas del Río de la Plata con oscilaciones diarias (máxima-mínima mensual) que alcanzan alrededor de 2 y 2,5 metros (Kandus, 1997).

Manejo forestal. El terreno, típico de bañado con algunos albardones interiores, de 100 has de superficie, se endicó y plantó en 1982, con estacas de 70 cm de longitud, de diferentes clones comerciales de sauces y de álamos durante los meses de agosto y septiembre. Al año siguiente se produjo la rotura de un sector del dique ocasionando el anegamiento total del área plantada durante una semana, situación que produjo un alto porcentaje de pérdidas. Las plantas se repusieron en esa misma temporada. El primer y segundo año se hicieron labores culturales, especialmente controles de hormiga que luego se abandonaron. Entre 1982 y 1983 se produjo una creciente extraordinaria durante la cual las aguas del río permanecieron por encima de la altura media alrededor de 6 meses. El endicamiento soportó esta situación pero las compuertas estuvieron cerradas mucho tiempo para impedir el ingreso del agua de río al campo, reteniendo en su interior a la lluvia y a la proveniente de filtraciones, que permaneció estancada en el terreno ya que el bombeo realizado no logró extraerla en su totalidad (Fernández, 1983). En el transcurso de los últimos 10 años el dique protector sufrió otras roturas a causa de repuntes del río y de mareas, siendo reparado en cada oportunidad, y los lugares bajos volvían a inundarse en cada ocasión, como el bañado original. Con el tiempo la red de drenaje se fue colmatando y tornándose cada vez más deficiente.

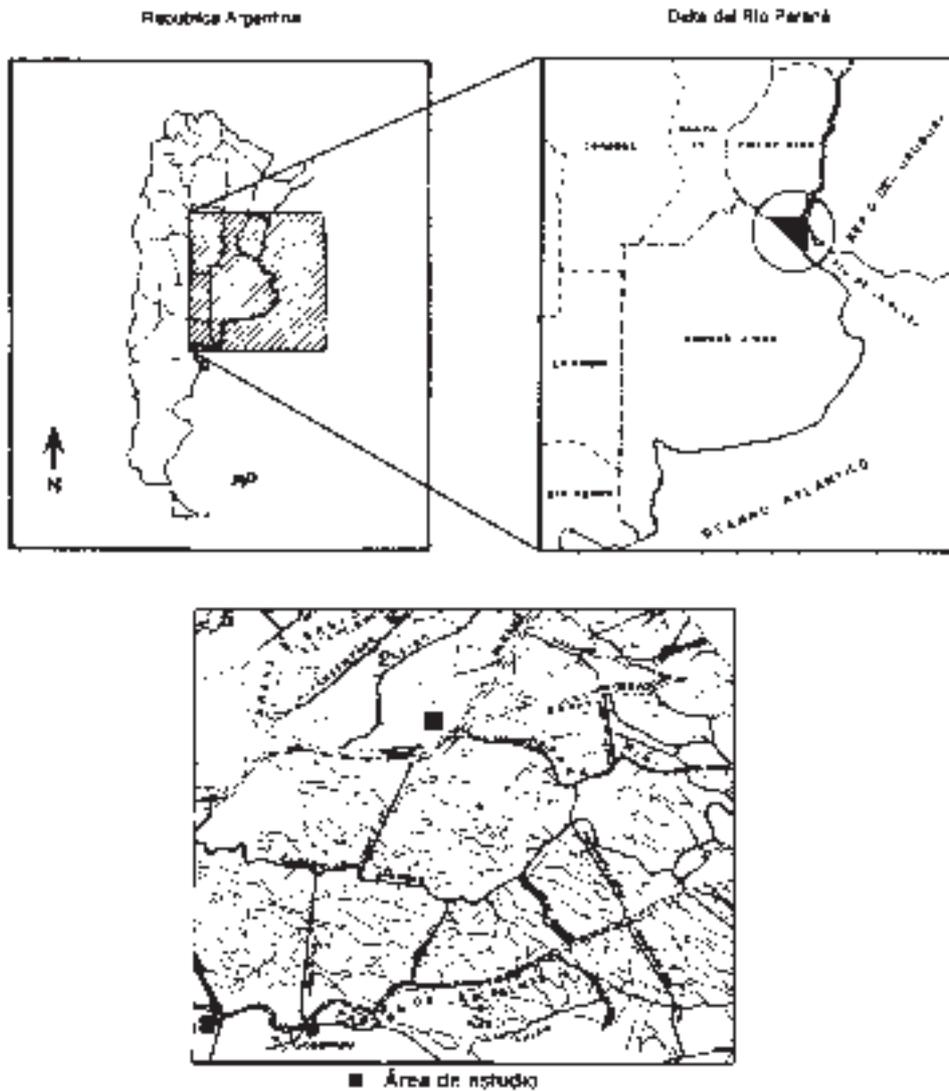


Fig. 1.—Ubicación geográfica del área de estudio

Método directo de evaluación de la calidad de estación

Producción forestal. Se seleccionaron dos lotes del mismo clon, uno de 4 has, distanciamiento $3,2 \times 4$ m, en el cual se inventariaron en una transecta, 7 parcelas, una a 50 metros de la otra, y otro lote de 3 has y distanciamiento $3,2 \times 5$ m en el que se midieron 6 parcelas igualmente distanciadas que en el caso anterior. Las parcelas se delimitaron me-

dante el Relascopio de Bitterlich factor de numeración 1 (Van Houtte, 1964), lo que permitió evaluar entre 9 y 44 plantas según los casos. En cada parcela se midió la circunferencia de todos los ejemplares en pie a la altura del pecho (1,30 m) y el área basal total. Se identificó el árbol dominante (promedio de los 100 de mayor diámetro por hectárea, Assman, 1970; Bengoa Martínez de Mandojana, 1999), y el árbol promedio. Por tratarse de una plantación de propiedad privada y por las dificultades de acceso al lugar no fue posible el muestreo de un número mayor de plantas dominantes por parcela. Las alturas totales de los árboles promedio se midieron mediante hipsómetro Blume-Leiss. No fueron inventariadas plantas tumbadas por el viento y en diferentes grados de descomposición ubicadas mayormente en las partes más bajas del terreno.

Índice de estación. En cada parcela se apeó el árbol dominante, con buena forma y buen estado sanitario, y se muestreó a 0,30 m, 1,30 m, y luego cada 2 metros hasta el extremo superior. Las muestras se analizaron en gabinete por el método de análisis del fuste, efectuándose en cada una de ellas la lectura de los anillos (Kramer y Akça, 1987). Con el fin de obtener funciones de índice de estación, se procesaron los pares de datos altura-edad de 13 árboles dominantes utilizando tres métodos, el de la curva guía, el de regresión jerárquica con estimadores de pendiente común y con estimadores de término independiente común (Bailey *et al.*, 1974; Alder, 1980; Cluter *et al.*, 1983).

Los modelos utilizados para desarrollar las funciones fueron:

- 1) Modelo de SCHUMACHER ($H=A*EXP(B/EDAD^C)$),
- 2) Modelo Logístico ($H=A/(1+EXP(B+C*EDAD))$) y
- 3) Modelo de Chapman-Richards ($H=A*(1-EXP(-K*EDAD))^M$).

Siendo:

$$M = 1 / 1 - d \quad H = \text{Altura dominante} \quad A, B, C, K, M = \text{Parámetros}$$

A cada función obtenida se le efectuó una prueba de estabilidad con sus propios datos (King, 1966), la que consistió en determinar si las medias de las alturas para cada edad y correspondientes a una misma clase de sitio (3 m de amplitud), sobrepasan o no los límites de la clase.

Métodos indirectos de evaluación

Comunidades vegetales. El tamaño y forma de la unidad muestral se hizo coincidir con los correspondientes a las parcelas de evaluación forestal. Se utilizó la presencia de distintas especies para definir sectores de mayor o menor altura del terreno, y se estableció la siguiente escala: Alto, Medio alto, Medio medio, Medio bajo, Bajo y Muy bajo, considerando como alto al terreno con presencia de *Cortaderia selloana* y/o *Rubus caesius* especies características de albardón (Burkart, 1957), y como bajo al que presenta *Echinodorus grandiflorus* y *Ranunculus apiifolius*, hidrófitas radicales que vegetan en suelos anegados o anegables (Cabrera, 1967-68). Los censos se ordenaron en función de la presencia de las distintas especies y su importancia relativa mediante el método multivariado de DCA (Detrended Correspondence Analysis, CANOCO 2.0, Ter Braak, 1988). Para determinar la existencia de relación entre la vegetación y la calidad de estación, se realizó una regresión lineal simple, utilizando como variables independientes a los dos primeros ejes generados por el DCA y como dependiente a la altura de los árboles dominantes.

Suelos. En 5 parcelas seleccionadas por su alta o baja productividad, se hicieron calicatas y se tomaron muestras de las dos primeras capas del suelo por constatar que era esta la zona de mayor desarrollo radicular. Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio del Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La disponibilidad de nutrientes de cada capa se evaluó utilizando las tablas orientativas para evaluar las propiedades físico-químicas de los suelos (INTA, 1996). Posteriormente, la información se correlacionó con los datos volumétricos de la parcela correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción forestal

Distanciamiento 3,2 × 5

La mayor productividad (519,12 m³/ha), mayor área basal (44 m²/ha) y mayor altura total de planta dominante (30,10 m) se encontró en un terreno alto, con un suelo de textura arcillo-limosa en la primer capa, franco-arcillo-limosa en la segunda, y altos contenido de fósforo asimilable en la capa superficial (> 20 ppm) (Ver Tabla 1 y 2), mientras que la menor (79,2 m³/ha), menor área basal (9 m²/ha), y menor altura de planta dominante (23,45 m), correspondió a un terreno muy bajo, suelo de textura franco-arcillo-limosa en la primer capa, franco-limosa en la segunda y bajo contenido de fósforo asimilable en la capa superficial (5 a 9.9 ppm).

Distanciamiento 3,2 × 4 m

Si bien la mayor productividad (356,4 m³/ha) y mayor área basal (33 m²/ha), se encontró en un terreno alto, de textura franco-arcillo-limosa y arcillo-limosa, y altos contenidos de fósforo asimilable en la capa superficial (> 20 ppm), la mayor altura de planta dominante (30,30 m), se localizó en un terreno alto de semialbardón, suelo de textura arcillo-limosa y franco-limosa, y bajos contenidos de fósforo asimilable en la capa superficial (5 a 9.9 ppm).

Mientras que la menor productividad (150 m³/ha) y menor área basal (15 m²/ha) se situó en un terreno medio bajo, la menor altura de planta dominante (26,30 m) correspondió a un terreno muy bajo, con un suelo de textura arcillo-limosa y franco-arcillo-limosa, y muy bajos contenidos en fósforo asimilable (< 5 ppm) en la capa superficial. En este distanciamiento, la parcela más productiva no contiene a la planta dominante más alta y viceversa, la menos productiva tampoco contiene a la dominante más baja.

En ambos lotes la cantidad de plantas por parcela fue siempre inferior en los sectores del terreno catalogados como Medio Bajos, Bajos y Muy Bajos, en los cuales se observó además un mayor porcentaje de plantas tumbadas por el viento.

Los muestreos de campo y posteriores análisis de laboratorio, demuestran que son suelos profundos (> 60 cm) ricos a muy ricos en Carbono Orgánico y con altos contenidos de Materia Orgánica en la capa superficial, pH ácido, muy alta Capacidad de Intercambio Catiónico y sin problemas de salinidad en las capas superiores del terreno.

Tabla 1
Características principales de las parcelas estudiadas

Parc N.º	Dist. (m)	Relieve del terreno	Prod. (m ² /ha)	Plantas/Parcela	Altura de la planta dominante (m)	Vegetación espontánea (ordenadas por mayor presencia)	Suelos Capas 1 y 2 Textura y profundidad
1	3,2×4	Alto	356,4	33	29,55	<i>Cortaderia selloanii</i> , <i>Carex riparia</i> , <i>Rubus</i> , <i>Althernanthera</i> .	1-Fr-Arc-Limosa (8,5 cm) 2-Arc-Limosa (64 cm)
2	3,2×4	Medio alto	302,4	28	28,60	<i>Carex riparia</i> <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Polygonum hydrophiloides</i> , <i>Eclipta alba</i> , <i>Carex riparia</i> , <i>Althernanthera</i> , <i>Erechtithites hieracifolia</i> .	
3	3,2×4	Medio medio	302,4	28	29,10	<i>Zizaniopsis</i> , <i>Carex riparia</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Polygonum hydrophiloides</i> , <i>Sesbania</i> , <i>Cyperus</i> , <i>Eclipta alba</i> , <i>Erechtithites hieracifolia</i> .	
4	3,2×4	Medio bajo	150	15	28,00	<i>Echinodorus grandiflorus</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Polygonum spp.</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Carex riparia</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Aeschynomene</i> , <i>Rynchospora</i> , <i>Cleome</i> , <i>Hydrocotyle</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Erechtithites hieracifolia</i> .	1-Arc-Limosa (20 cm) 2-Fr-Arc-Limosa (50 cm)
5	3,2×4	Muy bajo	250	25	26,30	<i>Carex riparia</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Rynchospora</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Polygonum sp.</i> , <i>Mikania</i> , <i>Ipomea indivisa</i> , <i>Althernanthera</i> .	
6	3,2×4	Bajo	296,38	29	28,10	<i>Carex riparia</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Sesbania</i> , <i>Rynchospora</i> , <i>Mikania</i> , <i>Ludwigia</i> , <i>Eclipta alba</i> , <i>Erechtithites hieracifolia</i> , <i>Cephalantus</i> .	1-Arc-Limosa (17 cm) 2-Fr-Limosa (44 cm)
7	3,2×4	Medio alto	331,30	29	30,30	<i>Carex riparia</i> , <i>Rubus caesioides</i> , <i>Panicum grumosum</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Aeschynomene</i> .	1-Arc-Limosa (8,5 cm) 2-Fr-arc-Limosa (75 cm)
8	3,2×5	Alto	519,12	44	30,10	<i>Carex riparia</i> , <i>Rubus</i> , <i>Aeschynomene</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Polygonum sp.</i> , <i>Mikania</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Sesbania</i> , <i>Murellimbeckia</i> .	
9	3,2×5	Medio alto	324	30	27,85	<i>Carex riparia</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Polygonum spp.</i> , <i>Rynchospora</i> , <i>Ludwigia</i> , <i>Mikania</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Althernanthera</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> .	
10	3,2×5	Medio bajo	107,8	11	25,00	<i>Carex riparia</i> , <i>Polygonum acuminatum</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Polygonum hydrophiloides</i> , <i>Rynchospora</i> , <i>Mikania</i> , <i>Phalaris</i> .	
11	3,2×5	Medio bajo	197,6	20	25,50	<i>Carex riparia</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Polygonum acuminatum</i> , <i>Polygonum hydrophiloides</i> , <i>Cephalantus glaberratus</i> , <i>Mikania</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Ranunculus apiifolius</i> , <i>Rynchospora</i> .	1-Fr-Arc-Limosa (16 cm) 2-Fr-Limosa (47 cm)
12	3,2×5	Muy bajo	79,2	9	23,45	<i>Carex riparia</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Polygonum spp.</i> , <i>Zizaniopsis</i> , <i>Cephalantus</i> , <i>Aeschynomene</i> , <i>Mikania</i> , <i>Phalaris</i> , <i>Cardamine</i> , <i>Ipomea indivisa</i> .	
13	3,2×5	Bajo	124,8	14	23,95		

Tabla 2
Resultados obtenidos en el análisis de las muestras de suelo

Parcela/ Capa	Carbono orgánico en %		Materia orgánica en %		Nitrógeno total en %	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
P1/C1	7,53	Muy rico	13,00	Muy alto	0,64	Muy alto
P1/C2	0,86	Pobre	1,48	Bajo	0,11	Bajo
P5/C1	19,70	Muy rico	33,9	Muy alto	1,67	Medio
P5/C2	1,74	Provisto	3,0	Medio	0,19	Medio
P7/C1	9,30	Muy rico	16,0	Muy alto	0,75	Muy alto
P7/C2	0,99	Pobre	1,71	Bajo	0,11	Bajo
P8/C1	4,69	Rico	8,08	Muy alto	0,62	Muy alto
P8/C2	1,24	Mod. Provisto	2,14	Bajo	0,14	Bajo
P12/C1	5,31	Muy rico	9,15	Muy alto	0,69	Muy alto
P12/C2	1,45	Mod. Provisto	2,50	Medio	0,14	Bajo
Parcela/ Capa	Relación C/N/N		CE pasta Sat. MS/cm		PH en agua 1: 2.5	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
P1/C1	11,8	Media	0,79	No salino	4,9	M. F. Ácido
P1/C2	7,8	Muy baja	1,11	No salino	4,7	M. F. Ácido
P5/C1	11,7	Media	0,79	No salino	4,7	M. F. Ácido
P5/C2	9,2	Baja	0,55	No salino	4,9	M. F. Ácido
P7/C1	12,4	Medio	0,63	No salino	4,8	M. F. Ácido
P7/C2	9,0	Baja	0,82	No salino	4,6	M. F. Ácido
P8/C1	7,6	Muy baja	0,75	No salino	4,8	M. F. Ácido
P8/C2	8,9	Baja	0,43	No salino	4,9	M. F. Ácido
P12/C1	7,6	Muy baja	0,88	No salino	4,8	M. F. Ácido
P12/C2	10,4	Baja	0,33	No salino	4,8	M. F. Ácido
Parcela/ Capa	Ca Inter Meq/100 g		Na Inter Meq/100 g		Mg Inter. Meq/100g	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
P1/C1	7,2	Medio	0,8	Alto	2,3	Medio
P1/C	7,7	Medio	0,6	Medio	3,4	Alto
P5/C1	13,9	Alto	0,8	Alto	3,0	Alto
P5/C2	7,7	Medio	0,7	Medio	3,4	Alto
P7/C1	13,5	Alto	0,7	Medio	3,1	Alto
P7/C2	5,1	Medio	0,5	Medio	2,8	Medio
P8/C1	10,6	Alto	0,7	Medio	2,9	Medio
P8/C2	6,8	Medio	0,5	Medio	3,6	Alto
P12/C1	5,8	Medio	1,0	Alto	3,2	Alto
P12/C2	4,7	Bajo	0,4	Medio	2,7	Medio

Tabla 2 (continuación)
Resultados obtenidos en el análisis de las muestras de suelo

Parcela/ Capa	K Inter. Meq/100g		Suma de cationes (S) meq/100g		CIC (T) meq/100g	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
P1/C1	0,4	Medio	10,7	Medio	41,7	Muy alto
P1/C2	0,3	Bajo	12,0	Medio	23,5	Alto
P5/C1	0,5	Medio	18,2	Alto	82,0	Muy alto
P5/C2	0,2	Bajo	12,0	Medio	23,2	Alto
P7/C1	0,3	Bajo	17,6	Alto	75,0	Muy alto
P7/C2	0,2	Bajo	8,6	Medio	45,9	Muy alto
P8/C1	0,5	Medio	14,1	Medio	51,7	Muy alto
P8/C2	0,3	Bajo	11,2	Medio	21,8	Alto
P12/C1	0,9	Alto	10,9	Medio	54,7	Muy alto
P12/C2	0,2	Bajo	8,0	Medio	17,5	Medio

Funciones de índice de estación

Las funciones se desarrollaron con los datos provenientes de los 13 árboles dominantes seleccionados, con los cuales se obtuvieron un total de 159 pares de datos altura edad. En la Tabla 3 se describe la distribución de observaciones por edades y clases de estación. Los árboles fueron asignados a las clases de estación de acuerdo con su Índice de estación (IE) que se corresponde con la altura a los 9 años de edad (edad base, EB).

El modelo que presentó el mejor ajuste al total de los pares de datos altura-edad (menor suma de cuadrados residual) fue el Logístico (Tabla 4), los parámetros obtenidos por cada modelo se presentan en la Tabla 5.

Como resultado de la prueba de estabilidad contra sus propios datos pudo determinarse que el modelo Logístico utilizando el método de la curva guía es el que presenta menores desvíos de las medias de las alturas en relación con la calculada (Figura 2).

La función del modelo Logístico con el método de curvas guía presentó la siguiente forma:

$$\text{Altura} = \text{IE} * (1 + \exp(2.78 - 0.504 * 9)) / (1 + \exp(2.78 - 0.504 * \text{Edad}))$$

IE = Índice de estación

Si bien en las tres estaciones los incrementos promedios anuales en altura de plantas dominantes, superaron los 2 metros para la edad base de 9 años; en la estación 1 superó los 3 metros.

Plantas de la estación 1, pertenecen a terrenos endicados definidos como altos y medios altos, con incrementos volumétricos anuales de 33,6 m³/ha/año. En este ambiente la mayor productividad se asocia a un mayor volumen de la planta promedio de la parcela, y a una mayor cantidad de plantas por parcela.

Tabla 3
Distribución de las observaciones por edades y clase de estación

Edad Años	Obs/Clase de estación		
	1	2	3
1	3	5	5
2	3	5	5
3	3	5	5
4	3	5	5
5	3	5	5
6	3	5	5
7	3	5	5
8	3	5	5
9	3	5	5
10	3	5	5
11	3	5	5
11,7	1	3	0
12	2	1	4
12,3	1	1	3
Subtotal	37	60	62
Total	159		

Tabla 4
Suma de cuadrados generadas por cada uno de los modelos

Suma de cuadrados	Modelo de Schumacher	Modelo Logístico	Modelo de Chapman-Richards
Modelo	56.339,71	56.394,82	56.331,54
Error	1.087,29	1.032,17	1.095,46
Total	57.427,00	57.427,00	57.427,00
R²	0,92135	0,92534	0,92058

Tabla 5
Parámetros estimados para cada uno de los modelos

	Schumacher		Logístico		Chapman-Richards	
	Estimado	Error estándar	Estimado	Error estándar	Estimado	Error estándar
A	77.122	22.585	28.544	0.667	34.370	2.350
B	-4.960	0.280	2.780	0.146	-0.198	0.033
C	0.648	0.130	-0.504	0.033	2.047	0.287

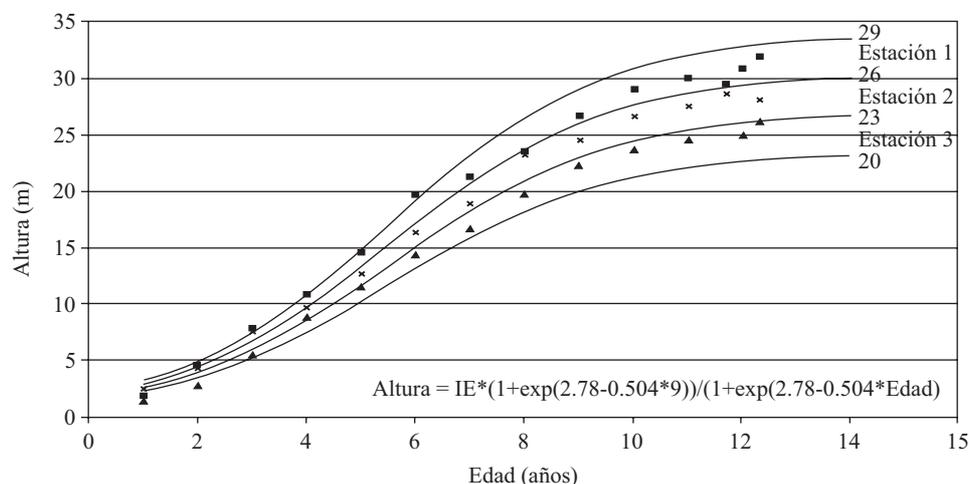


Fig. 2.—Alturas promedio relacionadas a la edad, graficadas dentro de los límites de sus respectivas clases de estación

Plantas de la estación 2 corresponden a relieves medios y bajos y presentan incrementos anuales de 20,8 m³/ha/año.

Los incrementos volumétricos anuales de la estación 3 (14,7 m³/ha/año), son inferiores al promedio para la zona (20-25 m³/ha/año), esta diferencia se atribuye principalmente al relieve del terreno (medios bajos, bajos y muy bajos) y al deficiente manejo del agua en áreas de bañados endicados. Estos suelos al permanecer mucho tiempo encharcados, como lo sugiere la presencia de *Echinodorus grandiflorus* y *Ranunculus apiifolius*, limitaron el desarrollo en profundidad de las raíces facilitando el vuelco de plantas por el viento, especialmente durante el período vegetativo de las mismas. Los menores valores de crecimiento y productividad por parcela se asocian más a la menor presencia de individuos por parcela que al volumen individual de cada planta.

Comunidades vegetales

En el primer eje generado por el DCA se agruparon en el extremo positivo los censos que presentaron especies como *Cortaderia selloana*, *Rubus sp.*, *Panicum grumosum*, *Althernantera sp.*, relacionadas con ambientes altos. La presencia de estas dos últimas especies, sugiere una buena disponibilidad de agua, ya que siempre se encuentran asociadas a esta característica del terreno. En el extremo negativo del eje se ubicaron censos que presentaron especies como *Echinodorus grandiflorus*, *Cleome sp.*, *Hydrocotile sp.*, *Ranunculus apiifolius* y *Cardamine sp.* características de zonas bajas.

Se detectó una relación lineal significativa entre el primer eje del DCA y la altura de los árboles dominantes ($\text{Altura} = 1,416 * \text{Eje I} + 22,14$; $P < 0.05$).

No se detectó ninguna relación significativa entre el segundo eje generado por el DCA y la altura de los árboles dominantes.

CONCLUSIONES

El modelo Logístico presentó mejor ajuste para obtener una función de índice de estación para esta plantación.

La función seleccionada adoptó los siguientes valores:

$$\text{Altura} = \text{IE} * (1 + \exp(2.78 - 0.504 * 9)) / (1 + \exp(2.78 - 0.504 * \text{Edad}))$$

IE = Índice de estación.

Altura = Altura dominante.

La mejor calidad de estación presenta mayor número de plantas por parcela (44), e incrementos volumétricos anuales que superan a los rendimientos promedios para la zona. Están asociados a suelos altos de albardón endicado, de textura arcillo-limosa en la primer capa y franco-arcillo limosa en la segunda y buena disponibilidad de agua, mientras que la peor, con incrementos volumétricos anuales inferiores al promedio y menor número de plantas por parcela (9), se asocia a los bañados endicados con un inadecuado manejo del agua, suelos de textura franco-arcillo-limosa en la primer capa y franco-limosa en la segunda y a un mayor número de plantas tumbadas por el viento en diferentes estados de descomposición.

A partir del análisis multivariado (DCA) de ordenamiento de los censos en función de la vegetación, se detectó la existencia de especies vegetales indicadoras de la calidad de sitio para el *Populus deltoides* cv *Catfish 2*, en la plantación comercial estudiada. Especies como *Cortaderia selloana*, *Rubus* sp., *Panicum grumosum*, *Althernantera* sp., serían indicadoras de buenos ambientes de plantación. Especies como *Echinodorus grandiflorus*, *Cleome* sp., *Hydrocotile* sp., *Ranunculus apiifolius* y *Cardamine* sp., indicarían ambientes de menor calidad.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Ángel Presta (†) propietario del monte, al personal de la Estación Forestal Sarmiento de la SAGPyA (ex Instituto Forestal Nacional), a los alumnos del 6.º año de la Escuela Carlos von Bernard de la ciudad de Zárate, Provincia de Buenos Aires, por toda la ayuda recibida durante la realización del presente trabajo; y a la Dra. Karina Hodara por la traducción al inglés del resumen.

SUMMARY

Different site quality in a plantation of *Populus deltoides* cv *Catfish 2* located in the low delta of the Parana River (Argentina)

In this work we studied the quality of forestall site in a 12 years olds commercial plantation of *Populus deltoide* cv *catfish 2*, located in Paraná delta's lowlands surrounded and protected by dams, using direct and indirect methods. In direct method we considered the mean dominant height through the development of height - age curves in which the site index was calculated as the dominant height to an age of 9 years old considered as base age. The Logistic model presented the best fit. The selected function sowed the following values:

$$\text{Dominant height} = \text{SI} * (1 + \exp(2.78 - 0.504 * 9)) / (1 + \exp(2.78 - 0.504 * \text{age})).$$

We studied the vegetation in relation to the height of dominant trees and the soil as indirect method.

The greatest productivity (519 m³/ha), basal area (44 m²/ha), and height of dominant tree (30,10 m) were detected in high lands with high phosphorus content in superficial stratum. The lowest productivity (79,2 m³/ha), basal area (9 m²/ha) and height of dominant trees (23,45 m) were detected in low relief lands, characterised by low assimilable phosphorus content in superficial stratum. We registered a great number of fallen down trees by the wind during the vegetative period in low lands where it was carried out a bad water management. According to the results obtained from multivariate analysis (DCA) of vegetation we could identify vegetation species as indicators of site quality

KEY WORDS: Yield
Populus deltoides
 Salicaceae
 Delta
 Paraná River
 Argentina

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER D., 1980. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos. v.2 Predicción del Rendimiento. Estudio FAO, Montes 22/2. Roma. 80pp.
- ALONZO A.E., 1991. Incidencia de los factores ecológicos sobre la productividad forestal en el Delta del Paraná. Delta del Paraná Año. 14. Número 14. ISSN 0045-9895.
- ARREGHINI R., CERRILLO T., SOMOZA A., 1992-1996. Las Salicáceas en la Argentina. Actividades. Informe preparado por la Comisión Nacional del Álamo-Argentina. 20.º Sesión de la Comisión Internacional del Álamo. Budapest.
- ASSMAN E., 1970. The principles of forest yield study. Trans. by S. Gardner. Pergamon Press, Oxford. New York. 506 p.
- BAILEY R., CLUTTER J., 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. FS 20:155-159.
- BENGOA MARTÍNEZ DE MANDOJANA J.L. Investigaciones agrarias: Sistemas y Recursos Forestales: Fuera de serie N.º 1. 311-321.
- BERRONDO G., 2000. Agrometeorología. Estación Experimental Agropecuaria Delta. INTA.
- BEZNATI E., 1995. Modificaciones en ambientes naturales ocasionadas por el endicamiento de un sector de islas del Delta Inferior. (Dir. Gurini, Codir. Introcaso). Seminario de Licenciatura. Universidad CAECE. pp87.
- BONFILS C., 1962. Los suelos del Delta del Río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. Revista de Investigación Agrícola. INTA. T. XVI, N.º3. Buenos Aires. Argentina.
- BURKART A., 1957. Ojeada Sinóptica sobre la Vegetación del Delta del río Paraná. Darwiniana. 11(3): 545.
- CABRERA A.L., 1967-68. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Colec. Cient. INTA-Buenos Aires. Parte I y II.
- CASAUBÓN E., GURINI L., CORTIZO C., 1993. Evaluación dasométrica de nueve clones de *Populus deltoides* cultivados en el Delta del Río Paraná. Congreso Argentino y Latinoamericano. Paraná. Entre Ríos. Relatorios y trabajos voluntarios publicados. Comisión VI. Bosques cultivados.
- CASAUBÓN E., GURINI L., RAMOS G., 1996. Productividad de *Populus deltoides* en el Delta del Paraná. 20.º Sesión de la Comisión Internacional del Álamo. Budapest.
- CLUTTER J., FORTSON J., PIENAAR L., BRISTEN G., BAILEY R., 1983. Timber management: a quantitative approach. Ed. J. Wiley & Sons. Pp. 331.
- DANIEL P.W., HELMS V.E., BAKER F.S., 1982. Principios de Silvicultura. 2da. Edición. McGraw-Hill, México. 492pp.
- DELTA DEL PARANÁ. 1973. Estudio preliminar para el diagnóstico Regional Delta. Año 13, N.º 14.
- FASSOLA H., WABO E., 1993. Funciones de Índice de Sitio para *Pinus elliottii* Engelm. En Misiones (Arg.). Revista Iyrrareta. N.º 4. Fc. Cs. Ftale. U.Na.M.
- FASSOLA H., FERNÁNDEZ R., CRECHI E., KUZDRA H., 1993. Estudio comparativo del comportamiento de funciones de índice de sitio para *Pinus elliottii* Engelm en Misiones (Arg).
- FERNÁNDEZ, R. 1993. Informe técnico de la Estación Forestal Domingo Faustino Sarmiento. Río Paraná Mini. INSTITUTO FORESTAL NACIONAL.
- GÓMEZ L., 1999. Plan de trabajo N.º 554.014. Productividad forestal de salicáceas en el Delta del Paraná. Estación Experimental Agropecuaria Delta. INTA

- HODGKINS E.J., 1960. Estimating site index for long leaf pine through quantitative evaluation of associated vegetation, Proc. Soc. Am. For., 1960 p. 28-32.
- KANDUS, P. 1997. Análisis de Vegetación a escala regional en el bajo Delta Bonaerense del Río Paraná (Argentina). Tesis para optar al título de Dr. En Ciencias Biológicas. Fac. de Cs. Exactas y Nat. UBA.
- KING J., 1966. Site Index curves for Douglas Fir in the Pacific Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper N.º 8.
- KRAMER H., AKÇA A., 1987. Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 287 pp. ISBN 3 7939 0740 6.
- LATINOCONSULT, ARGENTINA, 1972. Estudio integral para el desarrollo del Delta del Río Paraná bonaerense. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.
- MALVÁREZ A.I., 1992. Los Recursos Naturales de la Región del Delta del Río Paraná y su relación con condiciones ambientales y cambios producidos por actividades humanas. Proyecto del Programa MAB «El hombre y la biosfera». Subprograma 5 –GESER– Fac. de Cs. Exactas y Naturales. UBA.
- MALVÁREZ A.I., KANDUS P., 1995. Condicionantes ambientales. Patrones de Paisaje y Comunidades en el Delta del Río Paraná –I–. El Parque Nacional Predelta La Azotea. XVII Reunión Argentina de Ecología. Mar del Plata.
- MALVÁREZ A.I., KANDUS P., 1995. Condicionantes ambientales. Patrones de Paisaje y Comunidades en el Delta del Río Paraná. La zona de islas del Departamento Victoria, Prov. de Entre Ríos. XVII Reunión Argentina de Ecología. Mar del Plata.
- MALVÁREZ I. 1997. Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. La relación con factores ambientales y patrones del paisaje. Tesis para optar al título de Dr. En Ciencias Biológicas. Fac. de Ciencias. Exactas y Naturales. UBA.
- PETRAY Elvira, 1997 (a). Evolución de las forestaciones realizadas con Salicáceas (*Populus* y *Salix*) en la Provincia de Entre Ríos en el contexto del régimen de promoción de plantaciones forestales (RRPF).
- PETRAY Elvira, 1997 (b). Evolución de las forestaciones realizadas con Salicáceas en la Provincia de Buenos Aires en el contexto del régimen de promoción de plantaciones forestales (RRPF). Actualización a 1997.
- PETRAY ELVIRA, 2000. Las actividades relativas al cultivo y la utilización del álamo y del sauce. Período 1966-1999. Comisión Nacional del Álamo de Argentina.
- INTA, 1996. Tablas orientativas para evaluar las propiedades físico-químicas de los suelos. Instituto de Suelos AICET.
- SAGPyA, 1999. Argentina. Oportunidades de Inversión en Bosques Cultivados. 208 pp.
- Ter BRAAK C.J.F., 1988. Groep Landbouwwisunde. Wageningen. Nederland.
- TROWER J.S., 1989. Site Quality Evaluation Using Site Index.
- Van HOUTTE J., 1964. Empleo del Relascopio de Bitterlich en la Medición Forestal. IDIA (Suplemento Forestal).