

## **Relación del medio físico y las propiedades de los suelos con la configuración de un jardín botánico: El Jardín Botánico de Santiago de Compostela**

M. T. TABOADA-CASTRO, M.T. BARRAL, R. BASANTA & F. DÍAZ-FIERROS

*Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia  
Universidad de Santiago. 15706 Santiago de Compostela*

*(Recibido, marzo de 1995. Aceptado, junio de 1995)*

### **Resumen**

TABOADA-CASTRO, M.T., BARRAL, M.T., BASANTA, R & DÍAZ-FIERROS, F. (1996). Relación del medio físico y las propiedades de los suelos con la configuración de un jardín botánico: El Jardín Botánico de Santiago de Compostela. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 6: 35-48

La configuración de un jardín botánico ha de tener en cuenta las características del medio físico en el que se va a emplazar y, en particular, las propiedades de los suelos, estrechamente ligadas a su capacidad para sustentar una vegetación determinada. En este trabajo se describen las características del medio físico y se estudian los suelos de la zona destinada al Jardín Botánico de Santiago de Compostela, evaluando su capacidad productiva y su aptitud para los distintos tipos de vegetación. Se reconocen en la zona cuatro tipos de suelos: Leptosoles, Regosoles, Antrosoles y Fluvisoles. La producción máxima de materia vegetal, estimada a partir de valores climáticos, oscilaría entre 22,5 y 34,0 Tm/Ha año. Los suelos, en general, no presentan limitaciones por profundidad; el riesgo de erosión es bajo y su fertilidad química es moderadamente alta. Los principales limitantes son el riesgo de heladas, para plantas especialmente sensibles, el déficit de agua para plantas de enraizamiento somero, y el exceso de agua debido a un elevado nivel freático en ciertas zonas. Finalmente, se indican las zonas más adecuadas para el establecimiento de vegetación higrófila, acidófila, neutrófila y nitrófila. El establecimiento de vegetación calcícola requeriría un encalado intenso.

**Palabras clave:** Jardín Botánico, suelos, cartografía, aptitud, Santiago de Compostela.

### **Abstract**

TABOADA-CASTRO, M.T., BARRAL, M.T., BASANTA, R. & DÍAZ-FIERROS, F. (1996). Characteristics of the physical environment and soil-suitability for the layout of a botanical garden: The Botanical Garden of Santiago de Compostela, Spain. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 6: 35-48

The layout of a botanical garden must take into account the characteristics of the chosen site, particularly soil properties, which will effectively determine the site's capacity to sustain a given plant. In this work we report the productive capacity of the site proposed for the Botanical Garden of Santiago de Compostela (Spain), and also its suitability for cultivation of selected plant types. Four soil types were found at this site: Leptosols, Regosols, Anthrosols and Fluvisols. The maximum productive capacity, which was estimated from climatic data, varied within 22.5 and 34.0 tonnes per Ha per year. The site generally presented few limitations as regards soil depth; there was only a low risk of soil erosion; and the chemical fertility of its soils was quite high. The principal drawbacks of the site were a risk of frost, rendering it unsuitable for frost-sensitive plants; and, in some areas, insufficient water for plants having shallow roots, while in other areas the high water table produced an excess of water. The areas best suited to hygrophilous, acidophilous and nitrophilous plants were identified. Heavy liming would be necessary if calcicole plants were to be cultivated at this site.

**Key words:** Botanical garden, soils, cartography, suitability, Santiago de Compostela.

## INTRODUCCIÓN

En el año 1982 se tomó la decisión de construir un nuevo Jardín Botánico en Santiago, cuyas características y objetivos fueron definidos previamente en el documento «Bases para el Anteproyecto del Jardín Botánico de Santiago de Compostela» (Izco, 1992) y desarrolladas posteriormente en la «Propuesta para el Jardín Botánico de Santiago» (FERRATER *et al.*, 1993). De sus análisis se deduce que su objetivo fundamental es el educativo e investigador y que su ámbito de aplicación sería el de la España atlántica, siendo sus diferentes secciones: 1) Flora ornamental (1,2 Ha), 2) Invernaderos (0,1 Ha), 3) Diversidad vegetal (0,8 Ha), 4) Jardín antropológico (1,5 Ha), 5) Arboreto (4 Ha), 6) Jardín ecológico (2,5 Ha), 7) Viveros (1,0 Ha), 8) Cultivos experimentales (0,2 Ha).

En este trabajo se efectúa un estudio edafológico y de otros aspectos del medio físico, de una zona próxima a la ciudad de Santiago de Compostela, donde está previsto crear un Jardín Botánico. La finalidad de este trabajo es, por una parte, conocer la aptitud de los suelos de la zona para la implantación de las secciones anteriormente descritas, y por otra parte, aportar una información básica acerca de las características del medio físico que pueda ser utilizada en las actividades educativas e investigadoras que se lleven a cabo en este Jardín Botánico.

La evaluación de las cualidades de la tierra en relación con las aptitudes específicas que demanda la construcción de un Jardín Botánico es un aspecto poco o nada tratado en la bibliografía especializada, lo que añade más interés a su realización. En la bibliografía de evaluación de suelos o tierras, los trabajos más próximos a esta temática son los desarrollados por el MAB para la conservación de los recursos naturales (BREIMER *et al.*, 1986) y la utilización de suelos forestales para usos recreativos o de conservación (FAO, 1986). En ambos casos, las cualidades a las que se da un mayor peso son: a) La variedad de hábitats; b) La ausencia de procesos graves de degradación (p.e. erosión o presión de visitantes), y c) La dimensión mínima de las unidades

a conservar sin que pierda su capacidad autorregeneradora. En el caso que nos ocupa, las dos primeras cualidades son claramente dos objetivos de un terreno destinado a Jardín Botánico, mientras que el tercero, por la inevitable y necesaria intervención humana que conllevan estas instalaciones, tiene mucha menos importancia, ya que en este caso la regeneración dependería más de actividades de fertilización, renovación de plantones, entresacas, control manual o mecánico de especies indeseables, etc., que de procesos naturales autónomos.

## Características de la zona de estudio

### *Geología y Topografía*

La zona en la que se pretende ubicar el Jardín Botánico de Santiago de Compostela se encuentra situada en la proximidad del Campus Universitario Sur de esta ciudad (Fig. 1), ocupando una superficie de unas 11 Ha, de contorno irregular, en la cuenca del río Sarela. Desde el punto de vista geológico, alternan en la zona dos tipos de materiales, esquistos y granitos, con representación aproximadamente similar (Fig. 1). Los esquistos pertenecen al «Dominio migmatítico y de las rocas graníticas» y se les asigna una edad del Precámbrico-Silúrico (IGME, 1981). Se presentan frecuentemente migmatizados o con abundantes inyecciones graníticas. Sus minerales fundamentales son cuarzo, biotita, moscovita, microclina y plagioclasa. El granito, de datación hercínica, tiene como minerales principales cuarzo, microclina, plagioclasa, biotita y moscovita. Su textura es de grano medio y frecuentemente presenta orientación.

La variación altitudinal es pequeña; la cota más elevada es de 220 m y se encuentra en el extremo NE del área de estudio. La cota inferior es de 175 m y corresponde al nivel del río Sarela, cuando abandona la zona por su extremo SW. La presencia de bancales es un aspecto determinante de la topografía de la zona, que se traduce en una atenuación de las pendientes originales. Predominan las clases de pendiente 3 y 4, que corresponden respectivamente a intervalos de

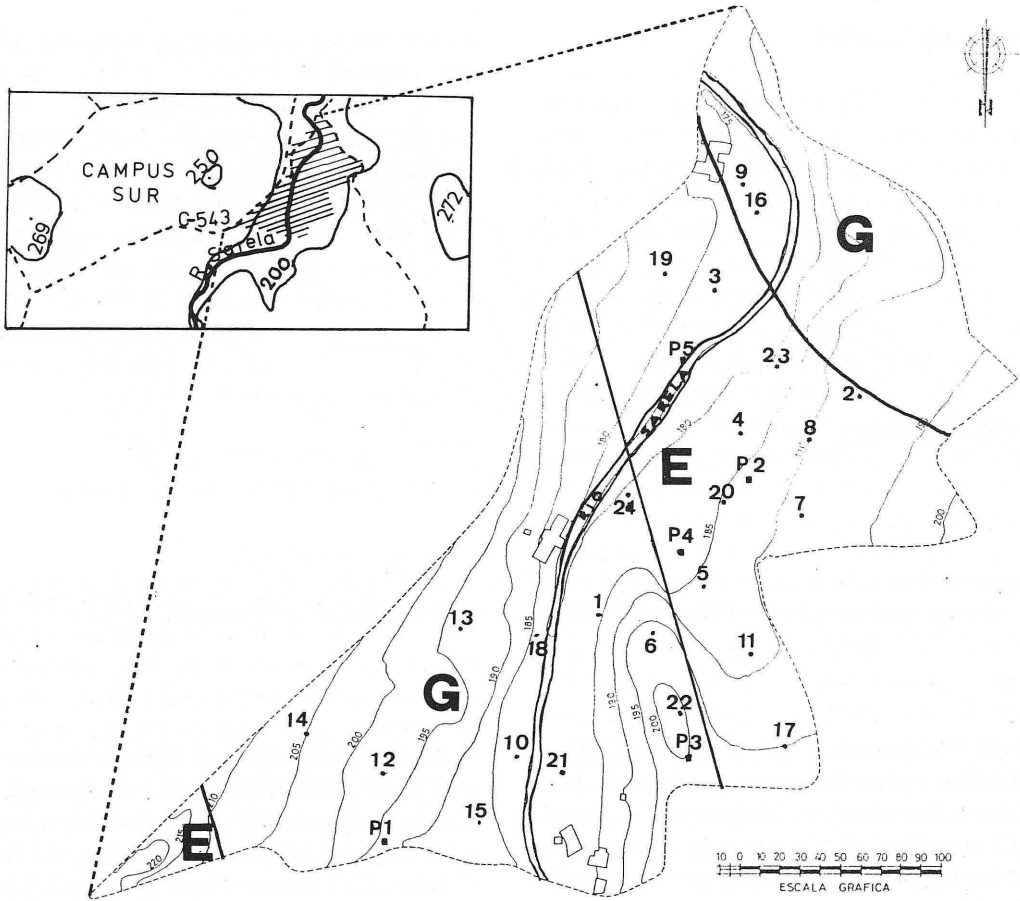


Fig. 1. Localización de la zona de estudio, perfiles (P1 a P5) y muestras superficiales (1 a 24). Litología: G = granito; E = esquistu.

pendiente entre 6-13% y 13-25% (Fig. 2a). En general, en las áreas de clase 3 y 4 la profundidad del suelo supera los 50 cm (Fig. 2c). Dentro de la clase 3 se encuentran algunas zonas afectadas por hidromorfía (Fig. 2b).

Con menor extensión, se encuentran algunas áreas de clase 5 (25-55%), ligadas a la presencia de afloramientos graníticos, o en lugares donde el río discurre ligeramente encajado. En las dos zonas de afloramientos rocosos, puede diferenciarse una parte superior, poco inclinada pero de escaso espesor del suelo, y un reborde con mayor pendiente y un espesor medio de suelo como consecuencia del coluvionamiento.

### Climatología

De acuerdo con los datos normalizados para el período 1945-74 de la estación termopluiométrica de Santiago de Compostela (CARBALLEIRA *et al.*, 1983), que está situada en las inmediaciones de la zona de estudio, la precipitación anual es de 1288 mm, el período de mayor pluviosidad va de Noviembre a Marzo y los valores mínimos se registran en el mes de Julio. La temperatura media anual es de 12,9°C; las medias mensuales superan durante todo el año el cero biológico (5°C), siendo Enero y Febrero los meses más fríos (con temperaturas medias alrededor de los 8°C), y Julio y Agosto los más cálidos (18,9 y

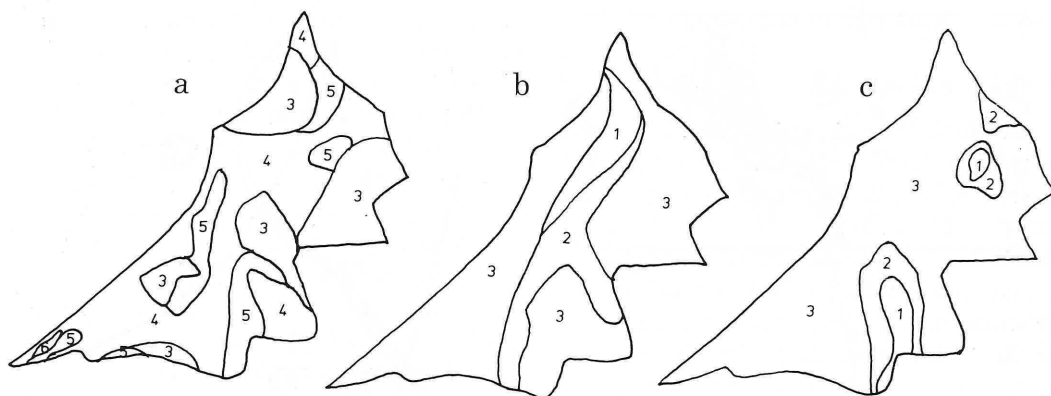


Fig. 2. (a) Clases de pendiente: 3 = 6-13%; 4 = 13-25%; 5 = 25-55%; 6 = > 55%. (b) Niveles de hidromorfía: 1 = saturación permanente; 2 = hidromorfía alternante; 3 = sin hidromorfía. (c) Profundidad del suelo: 1 = < 25 cm; 2 = 25-50 cm; 3 = > 50 cm.

18,3°C, respectivamente), si bien la oscilación térmica es pequeña, como consecuencia de la influencia oceánica. La evapotranspiración potencial (ETP) es de 702 mm; aumenta paulatinamente desde los mínimos invernales hasta el mes de Julio en el que alcanza su valor máximo. El agua disponible para la infiltración es de 784 mm; ésta sólo se interrumpe en los tres meses de verano, en los que el déficit de precipitación acumulado es de 197 mm. De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite esta estación corresponde al tipo climático B4rB'1a' (húmedo IV- con pequeño o nulo déficit de agua - mesotérmico I - eficacia térmica poco contrastada). Según Papadakis, se incluiría en la unidad climática Marítimo-Templada.

Con respecto al régimen hídrico del suelo, según el diagrama de Thornthwaite, la  $ETP > P$  a principios del mes de Mayo, comenzando un periodo de déficit relativo que se extiende hasta Julio. En este mes, agotada ya la reserva de agua del suelo (100 mm, término medio para los suelos gallegos según DÍAZ-FIERROS, 1971), se inicia un periodo de déficit absoluto, que resulta crítico para la supervivencia de las plantas, y que

se extiende hasta comienzos de Septiembre, donde  $P > ETP$ , restableciéndose primeramente la reserva de agua del suelo y produciéndose luego infiltración, lo cual ocurre a mediados del mes de Octubre. Para una reserva de agua de 200 mm sólo hay un periodo de déficit relativo, desde principios de Mayo hasta mediados de Agosto, y la infiltración no comienza hasta mediados de Noviembre.

Aplicando el modelo matemático de NEWHALL (1976), para una reserva de 100 mm, el periodo de déficit hídrico relativo comienza a mediados de Julio y finaliza a mediados de Octubre. Con una reserva de 200 mm, éste se limita a dos periodos, no continuos, en Agosto y Septiembre. En ningún caso llega a secarse el suelo totalmente. En base a estos cálculos, el régimen hídrico estaría en el límite entre el tipo Ustico y el Udico, para 100 mm, y sería claramente Udico, para una reserva de 200 mm, por no superar, en este caso, los 90 días acumulativos en los que la sección control se encuentra total o parcialmente seca.

La temperatura media anual del suelo a una profundidad de 50 cm es de 13,9°C, y la diferencia entre las medias de verano e invierno es de

6,4°C. Por lo tanto, el régimen térmico es de tipo Mésico (T media anual > 8°C y < 15°C; T media de verano-T media de invierno > 5°C).

#### *Condiciones hídricas*

Las propiedades de los suelos de la zona favorecen el drenaje, por presentar una granulometría media y carecer de discontinuidades texturales. Por lo tanto, son las condiciones hidrológicas relacionadas con la distribución de las aguas alóctonas las que dan lugar a diferentes condiciones hídricas dentro de la zona de estudio (Fig. 2b). En las partes más elevadas del valle del río Sarela las condiciones meteorológicas determinan el comportamiento del agua en el perfil, y no hay hidromorfía (nivel 3). Gran parte de los márgenes del Sarela y alguna zona relativamente deprimida presentan hidromorfía alternante (nivel 2) por efecto de la topografía, del regadío al que frecuentemente se someten esos suelos y del nivel freático elevado debido a la proximidad del río. Finalmente, en una franja de terreno de la margen izquierda del río se produce saturación permanente (nivel 1).

#### *Influencia humana*

Se manifiesta especialmente en la construcción de anchos bancales que suavizan la pendiente y permiten la acumulación de suelo, que es retenido por pequeños muros de piedra. Así mismo, una larga historia de cultivo (laboreo, riego, adición de abonos orgánicos y otros fertilizantes) se evidencia en las características de estos suelos, de marcado carácter antrópico. En la zona hay pequeñas extensiones de cultivos hortícolas, estando dedicado el resto mayoritariamente a prado para pasto y siega. La puesta en cultivo ha reducido la vegetación forestal a pequeñas manchas, confinadas en las zonas de afloramientos rocosos y de mayor pendiente, que comparten con matorrales, así como a una estrecha orla de ripisilva a lo largo del Sarela.

Otra influencia humana, ésta más reciente y claramente negativa, es la acumulación de productos de desecho en las proximidades de la carretera comarcal 543.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El estudio edafológico se ha encaminado a la delineación cartográfica de los principales tipos y fases de suelos, que se han clasificado según FAO (1989), así como de los niveles de fertilidad del suelo y su capacidad de uso. Para la elaboración del Mapa de suelos se han recogido y descrito 5 perfiles característicos; su situación se indica en la Fig. 1, su descriptiva se encuentra en la Tabla I y sus datos analíticos en la Tabla II. Por otra parte, se ha realizado un muestreo superficial (0-20 cm) en 24 puntos (Fig. 1), para establecer y delimitar la fertilidad del suelo.

Los análisis generales de los suelos (pH, C total, N total, granulometría) se realizaron siguiendo los métodos descritos en GUTIÁN & CARBALLAS (1976). El análisis del complejo de cambio (bases con acetato amónico a pH 7 y aluminio con KCl 1N) se llevó a cabo según INVESTIGACIÓN DE SUELOS (1973). En las muestras superficiales se determinaron los elementos asimilables según se describe en GUTIÁN & CARBALLAS (1976), Ca, Na, K y Mg con acetato amónico 1N a pH 7, P con ácido acético 0,5 N.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Tipos de suelos y su génesis**

Los suelos de la zona se caracterizan por presentar un escaso desarrollo de horizontes, identificándose únicamente horizontes A (Tabla I). Varios factores pueden haber contribuido a ésto: la topografía en pendiente, el sustrato granítico en parte de la zona, y la influencia del hombre que con sus prácticas de cultivo se opone a la horizonación. En la mayoría de los casos, los suelos superan los 50 cm de profundidad y son bastante homogéneos en sus propiedades; predominan las texturas franco arenosas, el pH es moderadamente ácido y la capacidad de cambio catiónico es baja, así como su grado de saturación, excepto en los Fluvisoles, donde supera el 50% en el horizonte superficial (Perfil 5, Tabla II).

TABLA I. Descripción del sitio y de los perfiles

Perfil	M	F	P	D	Uso	Hor.	Prof. (cm)	Color		T	E	Observaciones
								hum.	seco			
1	G	L	4	4	Prado	Au <sub>1</sub>	0-44	10YR3/2	10YR5/3	fa	mf	Antiguos banales Línea de piedras a 98 cm
						Au <sub>2</sub>	44-98	10YR3/2	10YR5/3	fa	mf	
						C	98-117	10YR5/6	10YR7/4	fa	—	
2	E	L	3	4	Prado	Au <sub>1</sub>	0-25	10YR3/3	10YR5/3	fa	mf	Antiguos banales
						Au <sub>2</sub>	25-50	7.5YR3/4	10YR4/3	fa	mf	
						Au <sub>3</sub>	50-100	7.5YR3/4	10YR4/3	fa	mf	
3	G	C	4	6	Monte	A	0-5	7.5YR2/2	10YR3/2	fa	mmf	Abundantes afloramientos rocosos
4	E	V	1	1	Prado	Au <sub>1</sub>	0-15	10YR2/2	10YR5/3	fa	gm	Nivel freático a 50 cm de la superficie
						Au <sub>2</sub>	15-25	10YR2/2	10YR5/3	fa	bs	
						Au <sub>3</sub>	25-33	10YR3/2	10YR5/3	fa	bs	
						Au <sub>4</sub>	33-44	10YR3/2	10YR5/3	fa	bs	
						Au <sub>5</sub>	44-60	10YR3/2	10YR5/3	fa	bs	
5	A	V	1	1	Veg. natural ripisilva	Au <sub>1</sub>	0-20	10YR3/2	10YR5/3	af	mm	Capa freática a 80 cm de la superficie
						Au <sub>2</sub>	20-40	10YR3/2	10YR5/3	af	gm	
						Au <sub>3</sub>	40-80	10YR3/2	10YR5/3	af	bs	
						Au <sub>4</sub>	80-110	2.5YR3/2	10YR5/3	fa	bs	

M = material original; G= granito; E= esquistos; A= sedimentos aluviales.

F = posición fisiográfica; L= ladera; C = cresta; V = fondo de valle.

P = clase de pendiente según FAO.

D = clase de drenaje según FAO.

T = textura; fa= franco-arenosa; af= arenoso-franco.

E = estructura; mf= migajosa fina; mmf= migajosa muy fina; mm= migajosa mediana; gm= granular media; bs= bloques subangulares.

TABLA II. Características químicas de los suelos

Per.	Hor.	pH		Complejo de cambio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )												
		H <sub>2</sub> O	KCl	%MO	%N	C/N	P	Ca	Mg	K	Na	Al	S	CIC	%V	
1	Au <sub>1</sub>	5,5	4,5	3,1	0,1	16,1	10,9	1,77	0,26	0,29	0,08	0,36	2,40	10,65 <sup>a</sup>	22 <sup>c</sup>	
	Au <sub>2</sub>	5,3	4,1	2,8	0,1	16,3	0,57	0,07	0,07	0,08	1,07	0,79	1,86 <sup>b</sup>	42 <sup>d</sup>		
	C	5,2	4,3	0,5	0,0	-	0,20	0,04	0,03	0,07	0,58	0,34	0,92 <sup>b</sup>	37 <sup>d</sup>		
2	Au <sub>1</sub>	5,2	4,2	8,7	0,3	16,2	6,2	0,75	0,31	0,34	0,10	7,47	1,50	17,88 <sup>a</sup>	8 <sup>c</sup>	
	Au <sub>2</sub>	5,2	4,3	5,6	0,2	14,8	0,16	0,07	0,19	0,18	7,20	0,60	7,80 <sup>b</sup>	8 <sup>d</sup>		
	Au <sub>3</sub>	5,0	4,2	7,0	0,2	21,4	0,11	0,05	0,16	0,03	6,67	0,35	7,02 <sup>b</sup>	5 <sup>d</sup>		
3	A	4,5	3,4	27,6	0,9	16,9	0,63	0,34	0,25	0,24	10,32	1,46	11,78 <sup>b</sup>	13 <sup>d</sup>		
4	Au <sub>1</sub>	5,3	4,3	11,7	0,4	18,4	6,7	2,05	0,69	0,29	0,17	0,96	3,20	20,83 <sup>a</sup>	15 <sup>c</sup>	
	Au <sub>2</sub>	5,3	4,2	8,0	0,3	14,4	1,20	0,46	0,26	0,14	0,88	2,06	2,94 <sup>b</sup>	70 <sup>d</sup>		
	Au <sub>3</sub>	5,2	4,2	9,1	0,3	18,9	1,11	0,42	0,22	0,15	1,05	1,90	2,95 <sup>b</sup>	64 <sup>d</sup>		
	Au <sub>4</sub>	5,5	4,3	8,2	0,2	21,6	0,79	0,30	0,19	0,26	0,94	1,54	2,48 <sup>b</sup>	62 <sup>d</sup>		
	Au <sub>5</sub>	5,6	4,4	5,6	0,2	17,2	0,93	0,34	0,24	0,16	0,73	1,67	2,40 <sup>b</sup>	69 <sup>d</sup>		
5	Au <sub>1</sub>	6,1	5,2	4,7	0,2	17,0	19,1	4,81	0,59	0,17	0,04	0,01	5,61	8,57 <sup>a</sup>	65 <sup>c</sup>	
	Au <sub>2</sub>	6,0	4,7	2,1	0,1	17,4	0,54	0,09	0,05	0,04	0,52	0,72	1,24 <sup>b</sup>	58 <sup>d</sup>		
	Au <sub>3</sub>	5,5	4,4	4,2	0,7	3,3	0,53	0,08	0,04	0,05	0,69	0,70	1,39 <sup>b</sup>	50 <sup>d</sup>		
	Au <sub>4</sub>	5,8	4,8	3,1	0,1	16,1	1,23	0,27	0,14	0,11	0,16	1,75	1,91 <sup>b</sup>	92 <sup>d</sup>		

MO = materia orgánica.

P = fósforo (mg/100g) extraído con ácido cítrico (BEGHEUN, 1980).

a = capacidad de cambio catiónico total.

b = capacidad de cambio catiónico efectiva (S+Al).

c = saturación en bases del complejo de cambio determinada según (S/CIC<sup>u</sup>)x100.d = idem según (S/CIC<sup>b</sup>)x100.

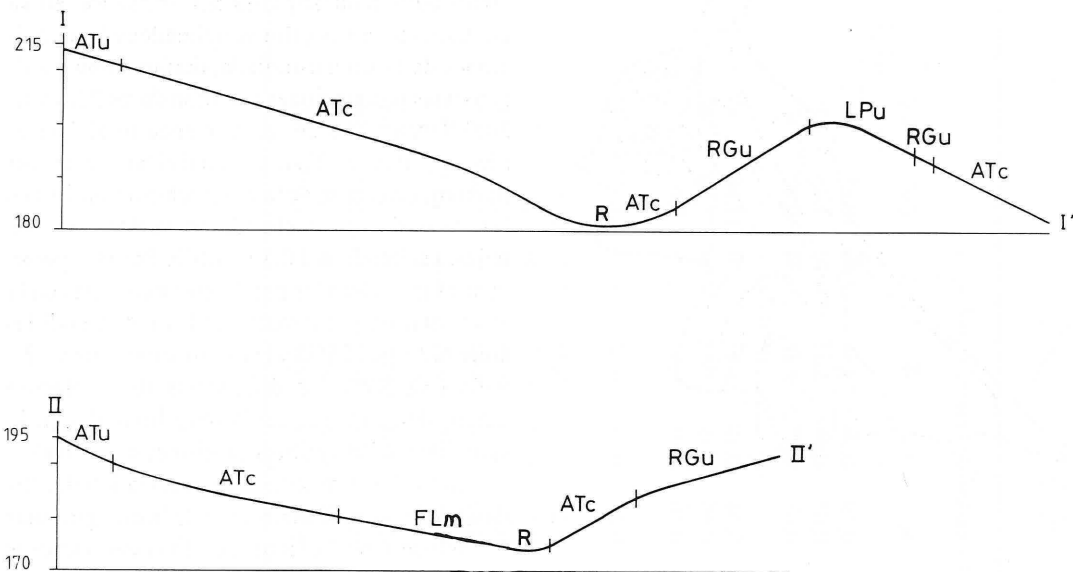


Fig. 3. Situación de los distintos tipos de suelos con respecto a la topografía: ATu = Antrosol úrbico; ATc = Antrosol cumúlico; RGu = Regosol úrbico; LPu = Leptosol úrbico; FLm = Fluvisol móllico; R = río.

Se reconocen en la zona cuatro tipos fundamentales de suelos, que constituyen una catena o secuencia topográfica (Fig. 3), y que se corresponden con los siguientes grupos de la FAO: Leptosoles, Regosoles, Antrosoles y Fluvisoles (Fig. 4).

Los Leptosoles se encuentran sobre los afloramientos graníticos; son suelos con un horizonte A de escaso espesor (entre 10 y 30 cm), ricos en materia orgánica y desaturados. La unidad de suelos se denomina Leptosol úrbico.

En los bordes de estos afloramientos, pendiente abajo, se acumulan materiales coluviales sobre los que se forman suelos de tipo Regosol, más profundos que los anteriores y que, por presentar como aquellos un horizonte úrbico, se denominan Regosoles úrbicos, habiéndose diferenciado una fase rúdica donde la presencia de fragmentos gruesos próximos a la superficie hace impracticable el uso de equipos agrícolas mecanizados.

La mayor extensión dentro de la zona corresponde a los Antrosoles, muchos de ellos formados sobre bancales y, en general, resultado del cultivo prolongado que ocasiona una profunda modificación o enterramiento de los horizontes originales del suelo y que altera sus propiedades físicas y químicas por el riego continuo durante mucho tiempo, adiciones seculares de materiales orgánicos y fertilizantes, etc. Se han diferenciado dos unidades de suelos; una de ellas se denomina Antrosol cumúlico por presentar una acumulación de materiales de textura franco arenosa o más fina, de más de 50 cm de espesor, como resultado de riego prolongado o por elevación de la superficie del suelo por el hombre. Dentro de esta unidad hemos distinguido una fase bancal, para aquellos suelos desarrollados sobre este tipo de construcciones, y una fase freática para los que presentan una capa freática dentro de una profundidad comprendida entre 50 y 100 cm desde la superficie. La otra unidad se

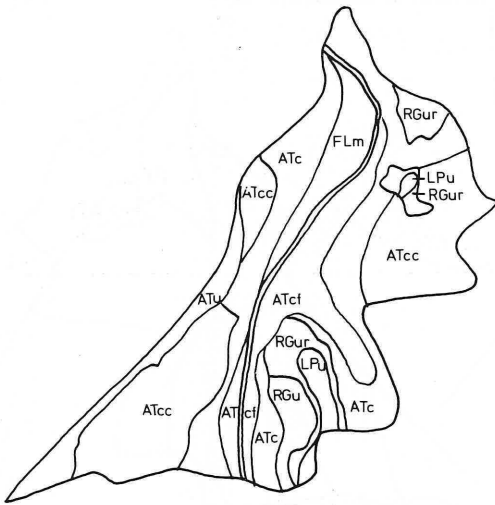


Fig. 4. Mapa de suelos: ATc = Antrosol cumúlico; ATcc = Antrosol cumúlico, fase cultivo; ATcf = Antrosol cumúlico, fase freática; ATu = Antrosol úrbico; RGu = Regosol úmbrico; RGur = Regosol úmbrico, fase rúdica; FLm = Fluvisol móllico; LPu = Leptosol úmbrico.

designa como Antrosol úrbico y se caracteriza por presentar, hasta una profundidad de más de 50 cm, una acumulación de residuos, en este caso basuras y rellenos urbanos.

Finalmente, se encuentran Fluvisoles en parte de la margen izquierda del río Sarela. Su grado de saturación es superior al 50% en los 20 cm superficiales, por lo que se trata de Fluvisoles móllicos.

### Capacidad productiva

La capacidad de producción de materia seca vegetal viene determinada, en primer lugar, por factores climáticos, fundamentalmente por la radiación solar. La tasa de transformación de la energía solar incidente en materia seca varía con la temperatura y con el grado de manejo al que fue sometida la comunidad vegetal. Para Galicia, las tasas máximas de transformación calculadas (UCIEDA *et al.*, 1983), incluyendo materia epigea

e hipogea, oscilan del 2 al 3% para prados bien fertilizados o eucaliptales sin limitación en su crecimiento; estos valores, aplicados a las condiciones de la zona estudiada, darían como resultado unas producciones que irían de las 22,5 a las 34,0 Tm/Ha año de materia seca total (partes aéreas y raíces). Esta productividad puede ser más baja en el caso de la vegetación natural, pues las tasas de aprovechamiento suelen ser más bajas, oscilando del 0,1 al 1,0%. Por otra parte, dadas las moderadas pendientes existentes en la zona (con un predominio de las comprendidas entre el 13 y el 25%) y la orientación general del valle (NE-SW), las diferencias de insolación dentro de la misma serán muy limitadas (a lo sumo de un 20% entre situaciones extremas).

Los valores máximos de producción dependientes del aprovechamiento de la energía solar se reducen por efecto de diversos factores limitantes, que en esta zona serían:

1) *Régimen de heladas*. El período medio con riesgo de heladas se extiende desde la primera decena de Diciembre a la última de Febrero, si bien pueden existir, con un período de retorno de 1 cada 10 años, heladas prematuras a partir de la primera decena de Noviembre o tardías hasta la segunda de Abril. Aun cuando el período con riesgo de heladas no es excesivo si se le compara con los de la Galicia interior, sí puede ser significativo para las especies más sensibles.

2) *Exceso de agua*. Existen dos zonas donde puede presentarse esta limitación (Fig. 2b). Una está situada en la proximidad del río Sarela y coincide con el tipo de suelo Fluvisol móllico; la saturación es prácticamente permanente, pues la profundidad del nivel freático oscila poco a lo largo del año, siendo de 1,0 a 1,2 m en los estiajes y menor de 0,5 en los períodos de aguas altas; por otra parte, toda la zona puede verse afectada periódicamente por inundaciones que anegan todo el terreno. La otra zona con características hidromorfias es la margen oeste próxima al río, donde se concentran las aguas de flujo subsuperficial, así como la línea de drenaje de un prado en la misma pendiente. En ella el nivel freático desaparece o se encuentra a más de 1,5 m en los estiajes y se sitúa durante los inviernos entre 0,5 y 1,0 m.

3) *Déficit de agua*. Depende de las condiciones climáticas y de las características del suelo (textura y profundidad). Desde la segunda decena de Mayo hasta la última de Agosto la evapotranspiración potencial supera a la precipitación; el agotamiento de la reserva de agua del suelo, y por lo tanto la aparición de la sequedad edáfica, va a depender de los tipos de suelos, pudiéndose distinguir, desde este punto de vista, dos zonas: una, que es la predominante, en la que los suelos tienen una profundidad superior a los 50 cm y por lo tanto la reserva de agua asumida es de 200 mm o más, y otra, localizada en torno a los dos afloramientos rocosos de la vertiente oeste, con profundidades inferiores a los 50 cm. y con una reserva asumida de 100 mm. Para la primera, el déficit real para plantas de enraizamiento medio o profundo se produce durante el mes de Agosto solamente, mientras que para las pratenses de enraizamiento más somero se extiende durante Julio y Agosto. Para la segunda zona, el déficit hídrico para todo tipo de plantas abarca los dos meses citados, pudiéndose ampliar algo más para las plantas de poco enraizamiento. Hay que tener en cuenta la variabilidad climática, que puede ampliar estos déficits, sobre todo hacia la entrada del otoño.

4) *Profundidad del suelo*. Este limitante afecta sobre todo al enraizamiento de las especies vegetales. En la zona prácticamente no hay limitación por profundidad (Fig. 2c), salvo en las proximidades de los afloramientos rocosos, donde las especies más exigentes en esta cualidad del suelo pueden ver restringido su crecimiento. Aún así, las especies arbóreas pueden aprovechar el fracturamiento de la roca para introducir sus raíces.

5) *Fertilidad química del suelo*. Como consecuencia del cultivo tradicional al que fueron sometidos la mayor parte de los suelos (zona 4, Fig. 5), las condiciones de fertilidad química son moderadamente altas (Tabla III). Sólo las zonas que rodean a los afloramientos rocosos presentan pH muy bajos y niveles muy reducidos de elementos asimilables (zonas 1 y 2), que genera-

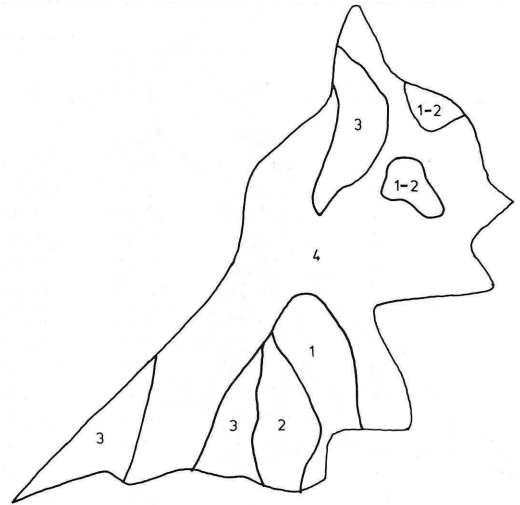


Fig. 5. Niveles de fertilidad química: 1 = deficiencia en todos los parámetros (pH, P y K); 2 = deficiencia en 2 parámetros; 3 = niveles medios en al menos 2 parámetros; 4 = niveles altos al menos en dos parámetros,

rían problemas importantes para el crecimiento vegetal, por lo que sería absolutamente necesario el encalado y la fertilización para especies moderadamente exigentes en nutrientes. En las zonas más próximas al río, y por lo tanto con un régimen de lavado relativamente importante, las condiciones de fertilidad química son de bajas a moderadas (zona 3).

6) *Pendiente*. Las pendientes excesivas pueden presentar problemas de mecanización o de erosión. En ninguno de los dos supuestos se considera que la zona pueda presentar problemas, ya que dado el uso previsto, la mecanización será limitada y siempre con elementos de bajo caballaje, mientras que los riesgos de erosión serán mínimos porque no existen pendientes excesivas (Fig. 2a) y en general el suelo se encontrará normalmente bien protegido por la vegetación.

TABLA III. Datos analíticos de las muestras superficiales

Muestra	(mg/100g)					pH	
	Na	K	Ca	Mg	P	Agua	KCl
1	17,04	11,64	49,40	9,68	0,90	4,30	3,67
2	16,60	40,80	73,40	11,56	2,40	5,96	4,64
3	22,16	11,84	139,20	22,60	1,50	5,82	4,86
4	16,32	26,40	75,20	14,40	1,70	5,94	4,74
5	18,52	16,80	89,60	13,36	1,80	5,35	4,40
6	20,52	12,92	80,60	13,56	1,70	4,00	3,29
7	16,84	24,00	71,60	10,12	1,40	5,48	4,34
8	18,00	27,20	75,60	11,60	1,30	5,72	4,48
9	18,20	7,44	84,80	11,48	1,40	5,84	4,79
10	22,92	10,80	167,20	19,20	2,60	6,10	4,80
11	27,08	26,40	136,80	25,20	2,30	5,63	4,96
12	17,96	16,40	127,20	12,80	2,20	5,96	5,10
13	16,64	30,40	132,80	14,44	1,60	6,20	4,81
14	17,48	9,64	76,80	10,20	2,40	5,46	4,31
15	14,52	15,00	144,80	15,12	2,10	5,35	4,71
16	39,20	12,17	224,80	23,60	4,80	5,40	4,56
17	27,60	30,40	208,00	34,00	1,30	5,68	4,63
18	17,36	47,20	136,00	19,80	3,50	5,75	5,14
19	16,24	15,00	84,00	8,52	3,90	5,73	4,40
20	17,36	20,80	68,80	11,08	1,70	5,64	4,44
21	16,36	9,56	61,40	6,32	1,90	4,38	4,15
22	21,04	10,48	44,60	6,76	1,20	4,65	3,75
23	18,56	25,20	174,40	26,40	1,90	5,97	5,14
24	25,40	16,60	167,20	32,40	3,10	5,55	4,84

### Ausencia de riesgos de degradación para el suelo y la vegetación

Los aspectos fundamentales a considerar son: 1) Erosión, 2) Caídas de árboles por vientos fuertes, y 3) Inundaciones.

1) La aplicación de la USLE para la predicción de los riesgos de erosión del suelo se resume en la Tabla IV. En ella se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, en relación con los factores de los que se compone la ecuación:

Factor R: se utilizaron como valores medios los interpolados para la zona de Santiago, del mapa de España de ICONA (1988).

Factor K: se calculó a partir de los datos analíticos de los suelos estudiados en este trabajo.

Factor LS: se consideró una pendiente de longitud estandar de 22 metros y con tres inclinaciones que se pueden dar en la zona (10, 20 y 30%).

Factor V: se tuvo en cuenta la distribución de usos del suelo que describe el Anteproyecto

(1992) y Memoria (1993) del Jardín Botánico, considerando que sólo en las secciones «Jardín Antropológico» (1.5 Has) y «Flora Ornamental» (1.2 Has) pueden darse períodos en donde el suelo quede parcialmente al descubierto y es, por lo tanto, susceptible de erosión. Se estimó que en estos períodos la cobertura puede oscilar de 10 al 50%, por lo que se eligieron estos valores extremos como términos para el cálculo.

Factor P: en los sectores susceptibles de erosión está previsto que los cultivos se realicen en bancales y terrazas, por lo que esta medida correctora se contempla siguiendo las especificaciones del Proyecto.

En conclusión, se puede apreciar que, si bien por las condiciones climáticas o de pendiente, los riesgos de erosión pueden ser altos en determinadas zonas, éstos pueden quedar muy atenuados con una adecuada cobertura vegetal y con medidas de nivelación del terreno, por lo que este riesgo se puede considerar despreciable si se cumplen dichas condiciones.

TABLA IV. Valores previstos de la erosión (cifras en negrita, Tm/Ha año) según la acción de los factores R, K, LS, V y P, descritos en el texto, para los distintos tipos de suelos de la zona (el valor de R se considera 300 en todos los casos)

Suelo	K	(pend.)	LS	(cob.)	V	P	Grado de Erosión							
1	0,12	<b>36</b>	10%	1,2	<b>43,2</b>	10%	0,61	<b>26,3</b>	0,12	<b>3,2</b>	L			
						50%	0,045	<b>1,9</b>	0,12	<b>0,2</b>	L			
			20%	3,6	<b>129,6</b>	10%	0,61	<b>58,3</b>	0,16	<b>9,3</b>	L			
						50%	0,045	<b>5,8</b>	0,16	<b>0,9</b>	L			
			40%	12,2	<b>439,2</b>	10%	0,61	<b>267,9</b>	0,22	<b>58,9</b>	A			
						50%	0,045	<b>19,8</b>	0,22	<b>4,3</b>	L			
			2	0,01	<b>3</b>	10%	1,2	<b>3,6</b>	10%	0,61	<b>2,2</b>	0,12	<b>0,3</b>	L
									50%	0,045	<b>0,2</b>	0,12	<b>0,0</b>	L
20%	3,6	<b>10,8</b>				10%	0,61	<b>6,6</b>	0,16	<b>1,0</b>	L			
						50%	0,045	<b>0,5</b>	0,16	<b>0,1</b>	L			
40%	12,2	<b>36,6</b>				10%	0,61	<b>22,3</b>	0,22	<b>4,9</b>	L			
						50%	0,045	<b>1,6</b>	0,22	<b>0,3</b>	L			
3	0,00	<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	L					
4	0,01	<b>3</b>	10%	1,2	<b>3,6</b>	10%	0,61	<b>2,2</b>	0,12	<b>0,3</b>	L			
						50%	0,045	<b>0,2</b>	0,12	<b>0,0</b>	L			
			20%	3,6	<b>10,8</b>	10%	0,61	<b>6,6</b>	0,16	<b>1,0</b>	L			
						50%	0,045	<b>0,5</b>	0,16	<b>0,1</b>	L			
			40%	12,2	<b>36,6</b>	10%	0,61	<b>22,3</b>	0,22	<b>4,9</b>	L			
						50%	0,045	<b>1,6</b>	0,22	<b>0,3</b>	L			
5	0,06	<b>18</b>	10%	1,2	<b>21,6</b>	10%	0,61	<b>13,2</b>	0,12	<b>1,6</b>	L			
						50%	0,045	<b>1,0</b>	0,12	<b>0,1</b>	L			
			20%	3,6	<b>64,8</b>	10%	0,61	<b>39,5</b>	0,16	<b>6,3</b>	L			
						50%	0,045	<b>2,9</b>	0,16	<b>0,5</b>	L			
			40%	12,2	<b>219,6</b>	10%	0,61	<b>134,0</b>	0,22	<b>29,5</b>	M			
						50%	0,045	<b>9,9</b>	0,22	<b>2,2</b>	L			

L = ligero; A = alto; M = moderado.

2) El riesgo de caída de arbolado por el viento fuerte puede ser un factor importante de degradación de la vegetación de un Jardín Botánico; sin embargo, si se tiene en cuenta que la velocidad media anual del viento para la zona es de 1.5 m/s, medida a 2 m de altura (FOLGAR *et al.*, 1979) y que el umbral que establecen BIBBY *et al.*

(1988) para que aparezca un riesgo moderado es de 2,6 m/s, se puede concluir que la zona tiene suficiente grado de abrigo y protección, en relación con este riesgo.

3) Finalmente, a partir de la aplicación del «método racional», se pueden evaluar los riesgos de caudales punta del río Sarela a su paso por

la zona, para determinados períodos de retorno. A partir de ellos y teniendo en cuenta los perfiles transversales a ambos márgenes del río, se definirían las áreas que pueden tener riesgo de inundación para períodos de retorno de 5 y 20 años (Fig. 6). En general, se aprecia que es muy limitada la zona que puede verse afectada por estos riesgos y, además, esta condición podría ser aprovechada para localizar sobre ella plantas con requerimientos hídricos muy fuertes.

### Aptitud de la zona para los diferentes tipos de vegetación

a) *Higrófilas*. Las dos zonas que presentan exceso de agua (Fig. 3b) pueden ser adecuadas para especies que resistan las condiciones de anoxia. Sin embargo, no se alcanzarían los altos niveles de hidromorfía y anaerobiosis que exigirían, por ejemplo, las especies turberiformes, ya que en la zona 1, que presenta un mayor periodo de saturación en agua, hay siempre oxígeno disuelto por tratarse de agua de río. Para conseguir ambientes de estas características se precisaría algún tipo de intervención, que generase embalsamientos de agua más permanentes y estáticos.

2) *Acidófilas*. En las zonas próximas a los afloramientos rocosos (suelos tipo Leptosol y Regosol) el pH es inferior a 5,5, por lo que las plantas bien adaptadas a estas condiciones podrían encontrar un ambiente idóneo.

3) *Neutrófilas y calcícolas*. Vegetación del primer tipo, adaptada en general a pH entre 5,5 y 6,5, se podría implantar en la mayor parte de los suelos de la zona, si acaso con un ligero encalado de mantenimiento. Ambientes calcícolas (con carbonato cálcico libre) no existen en la zona y si fuera necesario su establecimiento sería preciso efectuar encalados fuertes y frecuentes, para crear este ambiente y mantenerlo.

4) *Nitrófilas*. La mayor parte de los suelos de la zona presentan buenas condiciones para estas plantas, ya que el abonado orgánico tradicional a que fueron sometidas proporcionó unos niveles altos de nitrógeno, principalmente, pero también de otros nutrientes como el fósforo, magnesio y potasio (Tablas II y III). Los antrosoles úrbicos

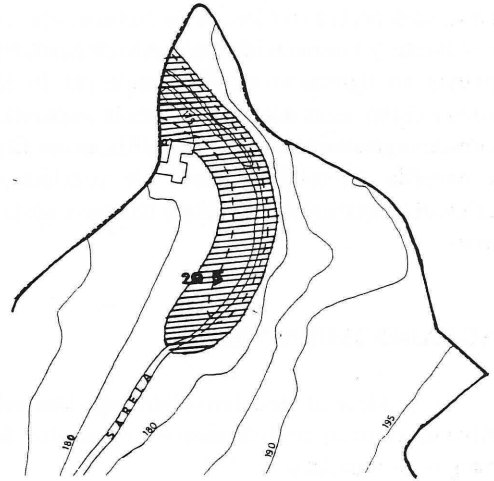


Fig. 6. Localización de la zona con riesgo de inundación (zona rayada), para períodos de retorno de 1 cada 5 y 20 años.

formados sobre derrubios y vertederos de origen urbano pueden responder mejor al concepto clásico de hábitat nitrófilo, aunque las diferencias en su fertilidad no parecen ser suficientemente significativas como para diferenciarlas de las anteriores.

### CONCLUSIONES

Se reconocen en la zona cuatro tipos fundamentales de suelos, cuya área de distribución sigue un orden decreciente: Antrosoles > Regosoles ~ Fluvisoles > Leptosoles.

La producción máxima de materia vegetal, estimada a partir de valores climáticos, oscilaría entre 22,5 y 34,0 Tm/Ha año de materia seca total. Los principales limitantes son el riesgo de heladas, para plantas especialmente sensibles, el déficit de agua para plantas de enraizamiento somero, y el exceso de agua en las zonas con un

elevado nivel freático. La zona no presenta riesgos importantes de degradación que, de producirse, se debería a erosión, en las zonas de mayor pendiente, y a inundación por efecto de caudales puntas, en algunas áreas próximas al río. En la zona existen áreas adecuadas para la implantación de vegetación higrófila, acidófila, neutrófila y nitrófila. El establecimiento de vegetación calcícola requeriría un encalado intenso y sostenido.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ingeniero Hidrólogo Manuel Alvarez Enjo su contribución en el estudio de riesgos de inundación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEGHEIJN, L.T. (1980). *Methods of chemical analyses for soils and waters*. LH. Vakgroep Bodemkunde & Geology, Wageningen.
- BIBBY, J.S., HESLOP, R.E.F., & HARTNUP, R. (1988). *Land Capability Classification for Forestry in Britain*. Soil Survey Monograph. The Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen.
- BREIMER, R.F., KEKEM, A.J. VAN & REULER, H. VAN (1986). *Guidelines for soil survey and land evaluation in ecological research*. MAB Techn. Notes, 17. UNESCO, Paris.
- CARBALLEIRA, A., DEVESA, C., RETUERTO, R., SANTILLÁN, E. & UCIEDA, F. (1983). *Bioclimatología de Galicia*. Fundación P. Barrié de la Maza, La Coruña.
- DÍAZ-FIERROS, F. (1971). *Contribución a la climatología agrícola de Galicia*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela.
- FAO (1986). *Evaluación de tierras con fines forestales*. Roma.
- FAO (1989). *Leyenda revisada del Mapa de suelos del mundo*. Roma.
- FERRATER, C., FIGUERAS, B., BANET, T., CASASAYAS, T. & ORTIGUEIRA, J. M. (1993). *Propuesta para el Jardín Botánico de Santiago*. Memoria mecanografiada. Barcelona.
- FOLGAR, J. & DÍAZ-FIERROS, F. (1979). A productividade do solo en Galicia. Ensaio da sua avaliación na zona de Figueiras-Fontecoba (Santiago de Compostela). *Rev. Gal. Est. Agrarios*, 1: 37-51.
- GUITIÁN, F. & CARBALLAS, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- ICONA (1988). *Agresividad de la lluvia en España*. Madrid.
- IGME (1981). *Mapa 1:50.000 y Memoria de la Hoja 94 (Santiago de Compostela)*. Inst. Geol. Min. Esp., Madrid.
- INVESTIGACIÓN DE SUELOS (1973). *Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras*. Ed. Trillas, México.
- IZCO, J. 1992. *Bases para el Jardín Botánico de Santiago de Compostela*. Documento interno. Universidad de Santiago .
- NEWHALL, F. (1976). *Calculation of soil moisture regimes from the climatic record*. Soil Survey Investigation Report. Soil Conservation Service, Washington, D.C., USA.
- UCIEDA, F., RETUERTO, R., CARBALLEIRA, A. & DIAZ-FIERROS, F. (1983). Productividad climática potencial de cultivos y bosques en Galicia. *Cad. Ciencias Agr.*, 4: 28-41.