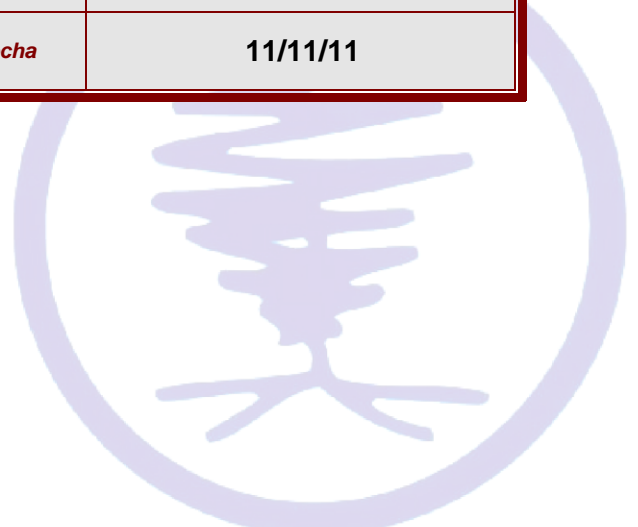


<i>Referencia</i>	Informe del estado general del Árbol de Santa María del Tule
-------------------	---

<i>Cliente</i>	Santa Maria del Tule (Oaxaca)
----------------	--------------------------------------

<i>Informe núm.</i>	2011-00294	<i>Fecha</i>	11/11/11
<i>Doc. núm.</i>	2	<i>Fecha</i>	11/11/11

Árbol
Investigación, y Gestión, S.L.





Índice

1. Introducción

3

2.



1. El árbol del Tule:

De nombre científico *Taxodium mucronatum*, el ahuehuete -también conocido como sabino o ciprés Moctezuma- es un árbol de la familia de las cupresáceas, típico en México y muy popular por su belleza, su enorme tamaño y su longevidad. El ahuehuete acostumbra a vivir más de 500 años, aunque hay algunos que ostentan récords bastante superiores: es el caso del Árbol del Tule, que hunde sus raíces en santa María del Tule, en el estado mexicano de Oaxaca, y al que se le calculan más de 2.000 años.



El ahuehuete, cuyo nombre procede de la lengua náhuatl y significa 'viejo del agua', resulta muy vistoso por su envergadura: los troncos tienen diámetros de entre 2 y 14 metros, alcanzando una altura de hasta 40 metros. Sus hojas son perennes y ordenadas en espiral, y, no produce flores, aunque sí una especie de piñas ovales.

El sabino o ahuehuete de Santa María del Tule en Oaxaca, (*Taxodium mucronatum*) es un árbol monumental con una copa de 36 metros de altura y 40 metros de diámetro. Se localiza en el atrio de la iglesia de Santa María del Tule en Oaxaca, México, aproximadamente a 13 km de la Ciudad de Oaxaca, sobre la carretera a Mitla.

Su edad real es desconocida, pero según estimaciones tiene más de 2000 años.

Este "viejo de agua", junto con otros vecinos de su misma especie, que se recomiendan incluir en un Parque Nacional, debe ser apreciado y protegido por su gran valor histórico, ecológico y cultural para los Oaxaqueños y para los Mexicanos.

Actualmente, los ahuehuetes están en peligro de extinción por lo que es deber de todos conocer un poco más sobre ellos, cuidarlos y conservar su entorno natural para que sigan presenciando el desarrollo de nuestra cultura y formando parte de nuestra identidad nacional por muchos siglos más, para que sigan siendo "los testigos más longevos de nuestra historia".

2. Introducción al informe:

El árbol de tule es un elemento vegetal singular de valor mundial irremplazable.

Desde el punto de vista biológico y ecológico los árboles monumentales son portadores de un genoma que probablemente esté hoy extinguido, por lo tanto, su pérdida significa perder una información genética irre recuperable. Suelen contener, además, en su sistema elementos no perturbados durante toda la vida del árbol: bacterias, hongos, insectos y otros organismos relacionados con su biología y entorno específico que han evolucionado conjuntamente con él. Así, si el Árbol del Tule tiene como mínimo 1000 (¿?) años, esto implica que contiene una fauna y flora acompañante de una edad similar.

Estos árboles suponen también un bien cultural de respeto y estima por la naturaleza ancestral. Son elementos que no son propiedad nuestra sino que hemos recibido de nuestros padres y debemos transmitir a nuestros hijos con toda integridad y capacidad



El municipio de Oaxaca ha sido quien ha velado por la conservación de un bien tan especial y como se detalla en el informe lo ha hecho de manera intachable en los últimos 1000 (¿?) años.

Se plantea en este informe el estado actual del árbol, y también se recomienda que criterios, variables, o perspectivas vale la pena valorar para que esta conservación siga dándose de manera correcta en los próximos años (100?).

Actualmente, los ahuehuetes están en peligro de extinción por lo que es deber de todos conocer un poco más sobre ellos, cuidarlos y conservar su entorno natural para que sigan presenciando el desarrollo de nuestra cultura y formando parte de nuestra identidad nacional por muchos siglos más, para que sigan siendo “los testigos más longevos de nuestra historia”.

Con la finalidad de conocer el estado de salud de este Ahuehuate en especial, así como de los demás que se encuentran también en Santa María del Tule, expertos Arboristas y Podadores de diferentes partes del mundo se reunieron del 7 al 11 de noviembre del 2011 para evaluarlo y proponer un plan de trabajo necesario para conservarlos en buen estado.

Este informe es el resultado de esta evaluación.

2.1. Ámbitos a los que afecta

El presente informe intenta valorar todos los ámbitos que pueden de manera directa o indirecta afectar en la actualidad y en un futuro inmediato el estado del árbol. Brevemente el informe intenta abarcar los siguientes ámbitos:

- **Ámbito científico:** este ámbito es el primordial en cualquier decisión. La realidad biológica del árbol debe ser siempre el referente en las actuaciones que se quieran realizar. Si esta realidad biológica presenta puntos oscuros en lo que se refiere a la respuesta a una actuación, esta debe aplazarse hasta delimitar sus consecuencias. Solo en casos de fuerza mayor podrían darse actuaciones sin una certeza absoluta en la respuesta. En este sentido creemos que sería importante crear un comité de expertos para que puedan analizar y dar respuesta a cualquier cuestión relacionada con el árbol.
- **Ámbito temporal:** evidentemente el ámbito temporal primordial es el que se refiere al presente, sin embargo creemos que SIEMPRE deben tomarse las decisiones considerando que el árbol debe estar ahí en buenas condiciones “siempre” por tanto ninguna actuación debe realizarse si no se conoce su efecto claramente en los próximos 15 años y la tendencia al menos en los próximos 100 años.
- **Ámbito espacial:** tal y como se comenta más adelante los árboles son estructuras que viven mejor o peor en función de cómo pueden colonizar el espacio, tanto en la zona aérea como en la zona radicular que van parejas. La gestión del espacio es pues uno de los ámbitos que deben valorarse
- **Ámbito social:** el árbol es un organismo vegetal que tiene un elevado reconocimiento, relación y conexión con la realidad de Santa María del Tule, Oaxaca, etc., entendemos que la conservación del árbol es la primera





prioridad para los vecinos del árbol, sin embargo su relación debe poderse mantener y a ser posible intensificar en beneficio de ambos. Entendemos que la opinión de los vecinos se expresa mayoritariamente en el Comité del Árbol, sin embargo para actuaciones que impliquen una modificación importante del entorno del árbol, creemos que se debe hacer extensiva a toda la población cada propuesta. Es importante que el entorno social del árbol tenga el máximo de información sobre el árbol especialmente biológica (siendo muy importante el sistema de comunicación que se establece), esto permite que sus opiniones tengan en consideración los aspectos fundamentales de la gestión del árbol, se aconseja para ello realizar cursos, jornadas, etc., especialmente diseñadas para este fin, sin olvidar las específicamente para escolares.



- **Ámbito divulgativo:** asociado al punto anterior pero con entidad suficiente debería generarse una documentación de todo lo que envuelve al árbol. Esta información debe incluir:
 - Recopilación de toda la información del pasado del árbol (histórico, tradiciones, leyendas, actuaciones pasadas, fotografías, etc.)
 - Información divulgativa de lo que el árbol representa y de la filosofía que subyace en la gestión del árbol
 - Información científica
 - Establecer un día del árbol.
 - Etc., creemos que, en este sentido, se debería crear un museo del Ahuehuate que aglutinara toda esa información y por extensión de la especie *Taxodium mucronatum* en Mexico. Además podría ser un entorno adecuado para la venta de plantas y semillas del árbol entre otros productos.
- **Ámbito político:** la gestión política debe ser el principal valedor para asegurar la estabilidad del entorno del árbol. Cuando se requiera realizar actuaciones alrededor o cerca del árbol, la realidad biológica debe estar siempre por encima de estas necesidades. La promoción de la ciudad a través del árbol debe tener como prioridad el propio árbol. Los políticos de Santa Maria del Tule y Oaxaca deberían además anticiparse a los gastos que la correcta gestión requiere a través de subvenciones, patrocinios, etc.

2.2. Objetivos

El objetivo de este informe es aportar ideas y datos para mejorar la conservación del árbol a corto, medio y largo plazo. Para ello se analizan todos los ámbitos en los que se desarrolla su existencia, especialmente los biológicos

2.3. Limitaciones

- 2.3.1. Este informe se ha realizado con los datos obtenidos durante las jornadas del pasado noviembre. La evaluación realizada ha sido eminentemente visual. Por tanto puede que algunos datos sean solo provisionales y que requieran en un futuro de análisis con mayor profundidad.



- 2.3.2. Desde el punto de vista de la mecánica los datos obtenidos se basan principalmente en la valoración visual de los síntomas externos de los árboles (VTA de Mattheck y Breloer 1994) Ver descripción de la metodología en punto 5. Aquellos defectos sin síntomas de ningún tipo escapan a esta valoración.
- 2.3.3. Algunos defectos de la parte más alta de las copas puede que no se haya detectado debido a la presencia de follaje durante la evaluación visual y ala enorme dimensión del árbol.
- 2.3.4. Los árboles son seres vivos, por tanto sus características mecánicas puede variar con el tiempo debido a causas bióticas o abióticas. En casos de fuerzas naturales impredecibles e intensas podrían darse roturas sobre estructuras sin defecto visible. El presente informe da cuenta de las características observadas en el momento de la evaluación.

2.4. Criterios de valoración

Los criterios de valoración que se han tenido en cuenta en esta valoración han sido (de más a menos importancia):

- Mejora biológica del árbol
- Conservación estructural del árbol
- Ecología del árbol
- Seguridad de los usuarios
- Factor estético, social, etc.

3. Metodología:

La valoración de los árboles se ha realizado mediante el sistema de Evaluación Visual del Arbolado (EVA) derivado del sistema VTA que describió Claus Mattheck a principios de los 90. El sistema se basa en la valoración de las estructuras visibles del árbol para determinar su estado interno tanto referido a su vertiente fisiológica como mecánica. Hay que comentar que sobre el sistema base desarrollado por Mattheck se han añadido informaciones de muchos otros investigadores como Ted Green (relaciones hongo – árbol) Francis Schwarze (relaciones hongo – árbol) Francis Halle y Pierre Raimbault (estructura arbórea), Wessolly (estática y aerodinámica) además de nuestra propia investigación, percepciones y experiencia.

Concretamente en la valoración visual se han observado variables como:

- Densidad foliar, altura y distribución de la masa foliar, medidas y coloración
- Estructura de ramas y rebrotes, procesos de crecimiento o atrincheramiento
- Madera de reacción, excesos de peso o exposición
- Defectos en uniones, codominancias
- Tipología de la corteza

A parte del método de valoración, en la toma de decisiones sobre la mejora de las condiciones de un árbol o un grupo, hemos incorporado aspectos de lo que se está llamando la *arboricultura ambientalista*, esta arboricultura parte de la base general, pero incluye aspectos de ecología, biodiversidad, cultura, etc., uno de los puntos que se valoran en la arboricultura ambientalista es la realización de podas en árboles maduros mediante simulación de roturas naturales. Este tipo de podas permiten (con el mismo nivel de calidad, seguridad y expectativas de los árboles) mantener una estética de paisaje de “no intervención”, de estilo mucho más cercano al del entorno natural, para ello recomendamos, siempre que sea necesario

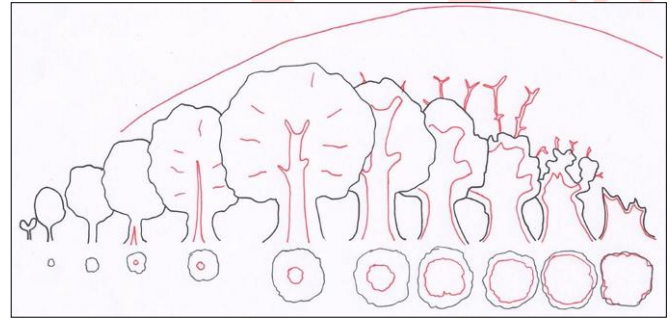


realizar trabajos de poda, hacerlo mediante roturas (en ramas secas o debilitadas) ya que generan un aspecto del árbol en el que no se observa la intervención humana. Además estas prácticas fomentan y conservan la biodiversidad



4. La conservación de los árboles singulares: criterios básicos:

Los árboles desarrollan su estructura a través de un proceso de crecimiento que busca fabricar una copa lo más amplia y alta posible siempre que se dé la suficiente eficiencia fotosintética. Este crecimiento es reactivo y dinámico y se acomoda constantemente a los cambios del entorno. La estructura dinámica de los árboles es un proceso regulado genéticamente que en función de la fase de edad, las modificaciones en el entorno, las agresiones, los cambios meteorológicos, etc., se desarrolla o bien expansionándose para aumentar el espacio colonizado (fases de juventud hasta la madurez o de recuperación del estrés) o bien se concentra (retrenchment o atrincheramiento¹) para facilitar los aportes de agua y nutrientes de la raíz a zonas más cercanas a la raíz (fase de senescencia o fases de estrés).



Esquema que descriu el cicle vital d'un roure, (*Q. Robur*) que té una durada de 900-1.200 anys.

El análisis de esta estructura, con sus componentes fisiológicas permite conocer las causas de su estado, su capacidad de recuperación y las labores de mantenimiento necesarias para su óptima conservación. El estudio de las fases de edad estructurales, explica como los árboles se estructuran en el espacio en función de distintas estrategias de colonización hasta llegar a la madurez, y cómo después de pasar cierto número de años en esta fase reduce progresivamente su estructura para adecuarla a la capacidad de obtención de recursos del sistema radicular de las fases terminales.

Los árboles maduros o senescentes (viejos), no lo son tanto por su edad como por su proceso de estructuración y colonización del espacio. Una vez el árbol, mediante su crecimiento de juventud, ocupa todo el espacio disponible (tanto por capacidades del espacio como de su capacidad de crecimiento interno) la producción neta disminuye. Además, en esta fase avanzada, cada uno de los ejes que constituye la copa, actúa, más o menos, de manera independiente generando "subcopas" con distintas características fisiológicas. La valoración debe hacerse de manera global, pero, también, considerando los ejes principales de manera aislada.

La tendencia expansiva o de reducción se define por la eficiencia fotosintética, y esta depende de los aportes de agua que provienen del sistema radicular. **Las disfunciones radiculares son la primera causa de procesos de reducción prematuros de la estructura aérea**

¹ Trees frequently cope with the loss of even massive parts by preserving a degree of vascular independence, and by utilizing flexible carbohydrate transportation, management & storage strategies. The ageing tree utilizes these abilities to develop lower crown vitality concentrations as an insurance policy against upper crown problems (structural vulnerability, water transport difficulties and parasitism). •The net result is **retrenchment**. (Neville Fay)



5. Estado actual del árbol:

5.1. Fisiología

El árbol de Tule tiene unos valores de vitalidad entre moderados y altos. Hay zonas de la copa en clara expansión otras están en fase de madurez y con crecimiento relativamente bajo. Alguna rama está en fase de regresión.

La presencia de ramas en expansión muestra que el árbol tiene todavía ciertos síntomas de juventud. Esta expansión podría significar que el sistema radicular está aportando recursos suficientes para las necesidades de la copa y para el crecimiento.

Las zonas de expansión de la copa se dan principalmente en zonas bajas del árbol. Si esto es así (**estrictamente**), quizá estaría mostrando no una fase de expansión general sino un cierto proceso de atrincheramiento (por tanto asociado una cierta reducción de la vigorosidad en zonas altas del árbol). No se ha observado en la zona alta del árbol esta reducción de la densidad foliar, crecimiento reducido, etc., aunque el hecho de que el árbol recibiese una poda de ramas secas hace unos años puede reducir nuestra capacidad e valoración de este punto. Así, nos inclinamos más por la teoría de la expansión general. Sin embargo un seguimiento visual del árbol en los próximos 5 años permitiría confirmarlo.

De las ramas claramente en regresión (una muy clara (ver fotografía) y alguna otra de menor tamaño) creemos que se debería más a una razón puntual y no extrapolable a todo el árbol.

Por tanto, resumiendo:

- La vitalidad del árbol, con los interrogantes descritos, sería moderada alta,
- Tiene rasgos de juventud acusados y expansión lateral, algo más acusada en los primeros 15 metros de la copa.
- Quedando pendiente de determinar en los próximos años si este crecimiento lateral se puede relacionar con un atrincheramiento de la copa (en principio creemos que no).





5.2. Fitopatología

No estamos muy familiarizados con la fitopatología de esta especie, sin embargo después del análisis efectuado, los principales puntos a destacar serían:

- **Ausencia de plagas en hojas y brotes tiernos:** las hojas no presentaban cochinillas, pulgones, necrosis, etc., aun siendo época otoñal, cuando la presencia de organismos acompañantes de la senescencia foliar de esta época se expresan de manera más clara.
- **Ausencia de xilófagos en rama y ejes:** la única presencia de hongos xilófagos se ha asociado al propio deterioro de ramas que han fracasado por razones lumínicas, o por roturas por exceso de peso o exceso de viento, no se han detectado, prácticamente, chancros, necrosis, etc., también se han observado cavidades en el lugar que había ramas que han muerto hace tiempo, los xilófagos implicados en la degradación de la madera estaban afectando solo al duramen y no creemos que tengan ningún tipo de actividad parasítica o patógena.

Solo en un caso hemos detectado presencia de pudrición marrón, esta podría estar extendida en todas las ramas con duramen relativamente viejas. Sin embargo la presencia de síntomas ha sido muy reducida².

- **Presencia de necrosis en la zona de tensión de las ramas laterales con crecimiento en madera de compresión:** las ramas laterales tienen el vector del peso compensado mediante un extraordinario crecimiento de madera de reacción en compresión. La zona de tensión de estas ramas es una zona de no inversión, de muy bajo crecimiento y por tanto con cierta facilidad para presentar estas necrosis. Asociado a esta necrosis cortical hay una muy elevada presencia de crecimiento epicórmico de ramas sin prácticamente desarrollo.
- **Ausencia de xilófagos en la zona basal:** se han detectado algunas cavidades en la zona baja (muy pocas y de reducido tamaño), y su presencia evidencia la presencia de algunos hongos que habrían podrido la madera vieja, la proporción en la que se han encontrado, su posición y dimensiones hacen pensar en el proceso natural que todas las especies de árboles presentan de deterioro de la madera muerta antigua por hongos especialistas sin capacidad de afectar a la albura.



² Ver punto 5.4. Mecánica



- **Ausencia de enfermedades en las raíces finas:** se han realizado solo un par de inspecciones de las raíces finas, estas han mostrado que están muy superficiales (como ocurre normalmente) y que estaban micorrizadas y sin síntomas de necrosis, etc., los elevados valores de vitalidad hacen pensar que el sistema radicular absorbente está en general en buen estado.
- **Raíces leñosas** (conductoras y mecánicas): no se ha realizado un examen de este tipo de raíces ya que ello conllevaba una limpieza de las mismas, es posible que presenten las más antiguas porciones de madera muerta y cavidades, pero no se ha observado que al menos lo que era visible supusiera un problema fitosanitario.



5.3. Estructura

Ya se ha comentado en el análisis fisiológico que nos encontramos con un árbol que está en fase de expansión, por tanto sus características estructurales son las que corresponden a las de un ejemplar a finales de la fase de juventud, inicios de madurez.

Las fases estructurales no dependen de la edad del árbol, sino de la relación del árbol con el espacio que ocupa.

Es difícil decir donde acaba la “**copa posible**” del Árbol del Tule pero su capacidad de crecer lateralmente puede ser todavía muy importante. Creemos realmente que en los próximos 100 o 200 años el árbol podría llegar a doblar la anchura actual (si no hubiese impedimentos a su alrededor). Esta expansión podría darse en todas las orientaciones o darse especialmente o solo en algunas.



Desde el punto de vista de la altura, las evidencias apuntan que la altura del árbol no se va a modificar (más allá de un margen de 3 o 4 metros). La cúpula del árbol es bastante cerrada, es decir el espacio colonizable (en altura) está copado, esto significa que el árbol tiene vitalidad suficiente para (en su altura máxima de trabajo) mantener una copa funcional y eficiente. Una reducción de la fisiología se expresa de manera inmediata en la zona central y más alta del árbol, el hecho de que esta zona esté en buenas condiciones es un síntoma excelente.

Desde el punto de vista estructural, nuestra principal duda es si el árbol va a ser capaz de generar copas de sustitución en el centro del árbol (donde está teóricamente la copa más vieja) y en caso afirmativo con que capacidad, de que tipo y con qué altura final. Este es un proceso lento que creemos que de darse no podrá valorarse antes de 15 o 25 años.

Las reiteraciones: El árbol del tule está compuesto por los ejes principales y por un elevado conjunto de reiteraciones que se han ido generando.

Las reiteraciones son ramas que repiten la estructura básica del árbol de una manera total o parcial.

No se ha realizado un examen exhaustivo del número y orden de las reiteraciones. Es posible que los ejes originales se hayan perdido y la estructura esté constituida solo por reiteraciones. Las reiteraciones empiezan como rebrotes y se desarrollan en función de si el árbol está en una fase de expansión o contracción, de la presencia de luz, etc.,

Como resumen del análisis estructural podemos concluir:

- El Árbol del Tule está estructuralmente, a finales de la juventud inicios de la madurez, en todo caso está en una fase expansiva de su estructura asociada a esa fase de edad.
- La anchura final de la copa es de difícil predicción, pero creemos que la “copa posible” podría ser de una anchura del doble de la actual.
- Se tendría que valorar en los próximos 5-8 años si la hipótesis del atrincheramiento (reducción apical y aumento de la copa basal) se mantiene o se puede descartar.



- La fase estructural en la que el árbol se encuentra hace posible dictaminar que las expectativas de vida del Árbol del Tule son todavía altísimas si las condiciones del ambiente se mantienen suficientemente estables y no hay ningún fenómeno atmosférico drástico que lo afecte.

No se puede separar, en este caso, la estructura fisiológica del componente mecánico del árbol que se analiza en el siguiente punto.

Creemos que se debería contar con una imagen tridimensional de la estructura y mecánica del árbol, esto permitiría el estudio de su copa desde una nueva perspectiva y podría usarse para explicar sus especiales características.



5.4. Mecánica

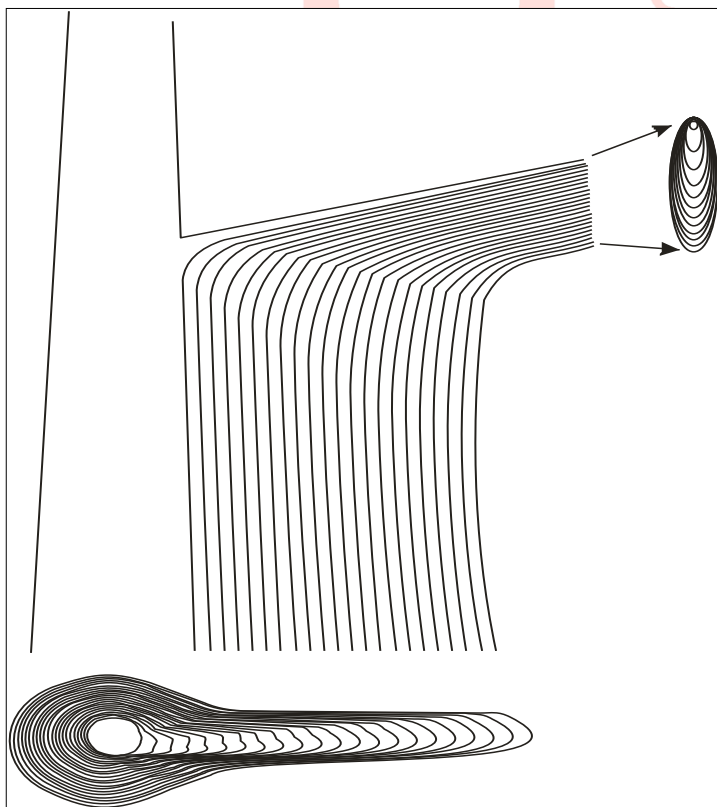
La mecánica es la parte de la arboricultura que describe como los árboles son objeto de cargas del peso y, especialmente, del viento y cómo reaccionan a estas cargas desarrollando adaptaciones anatómicas que reduzcan la carga y mantengan unos niveles de seguridad aceptables.

En este apartado se describe en primer lugar la estrategia de mejora de los estreses mecánicos naturales del árbol, en segundo lugar se describe la importancia de la adaptación mecánica y en tercer lugar algunos de los puntos críticos que el árbol tiene en su estructura y que soluciones pueden darse para corregirlos.

a) Descripción de la estructura mecánica natural del árbol.

El componente mecánico del Ciprés del Tule es lo que otorga al árbol una mayor singularidad. La forma y singularidad del árbol son el resultado de un crecimiento de madera de compresión extraordinario y que NO HEMOS ENCONTRADO EN OTROS EJEMPLARES de la misma especie. Esta singularidad puede ser debida a dos causas:

- Debido a la edad del árbol este tipo de crecimiento se ha hecho especialmente evidente, o
- Se trata de una singularidad genética de este ejemplar que le hace ser especialmente expresivo





en la fabricación de maderas de reacción (de compresión).

Creemos, por las observaciones realizadas en otros árboles de edad suficiente para expresar este tipo de madera de reacción (si fuera una característica de la especie), que se trataría de una característica específica de este árbol. Esto aumentaría su valor como elemento singular, irrepetible e insustituible³. También sería una de las causas de que las dimensiones del árbol sean tan extraordinarias. Al diámetro "normal" asociado a la edad y crecimiento se "sumaría" el crecimiento debido a la madera de reacción.



Este hecho podría reducir la estimación de edad que se le supone al árbol. Sin atrevernos a proponer ningún número que se derive del estado estructural y anatómico, (debido a nuestro desconocimiento de la dendrocronología de esta especie y concretamente de este ejemplar). Estudios dendrocronológicos de las ramas cortadas cuyos tocones están todavía en el árbol serían susceptibles de ser analizados desde este punto de vista y permitirían realizar algunas aproximaciones.



La madera de compresión es un tipo de madera de reacción que el árbol fabrica para compensar los esfuerzos del peso. Todas las coníferas compensan la carga del peso a través de la madera de

³ Desde este punto de vista recomendamos especialmente obtener plantas idénticas genéticamente al Árbol del Tule, y no solo provenientes de semilla.



compresión, sin embargo hay especies que son especialmente expresivas. En este caso ya hemos comentado que creemos que hay, además, un componente individual específico.

En el caso del Árbol del Tule el crecimiento de las ramas laterales (que son las que tienen una componente del peso elevada) generan de manera exclusiva madera de compresión. Así el anillo 1 está situado en la parte superior (a veces en el mismo límite de la rama) generando esta configuración tan especial.

b) La adaptación de la copa:

Los distintos ejes del árbol generan una copa conjunta. Esta copa conjunta genera una protección donde todas las ramas se protegen entre ellas, y donde la pérdida de una rama puede generar desadaptaciones importantes en el resto de la copa, por tanto se recomienda evitar en lo que se pueda realizar podas (aun de seguridad) que impliquen generar huecos en el árbol, en todo caso si se cree conveniente realizar alguna poda de este tipo, el factor adaptación debería considerarse suficientemente. Dentro del factor adaptación existen algunas ramas que mejoran extraordinariamente la estructura general del árbol mediante, estas ramas son ejes que se han fusionado con otros ejes colaborando en su sustentación. Desde el punto de vista mecánico estas ramas (ANCLAJES NATURALES) son insustituibles.





c) Defectos detectados en la copa del Árbol del Tule.

El árbol del Tule presenta una copa joven, sin regresión y sin prácticamente defectos mecánicos.

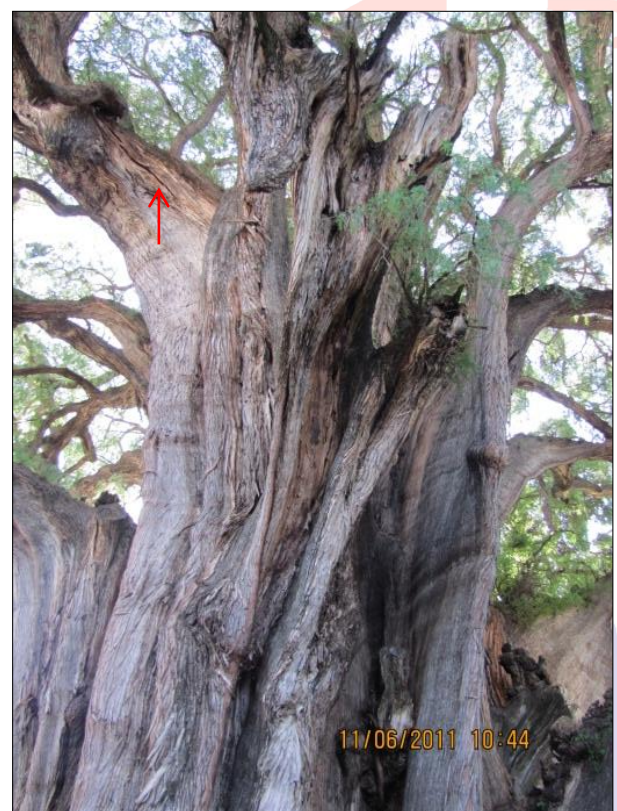
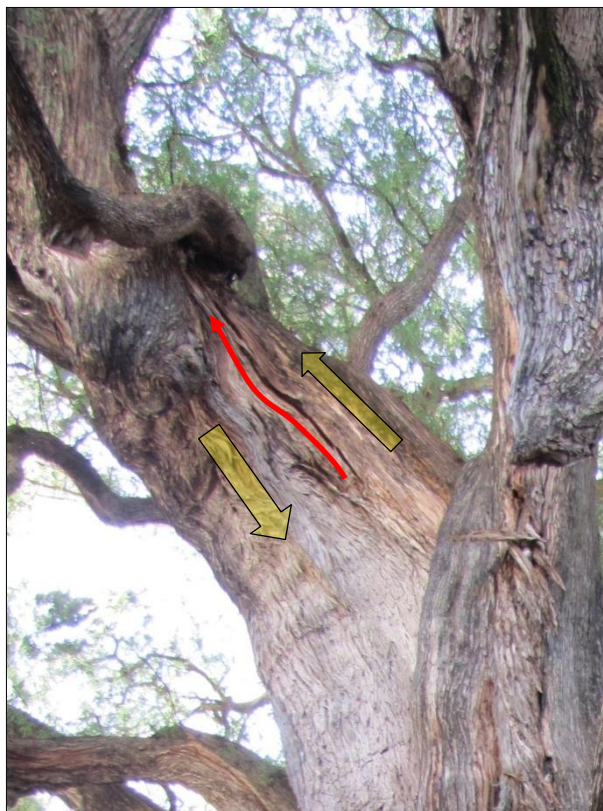
Se han detectado trabajos de poda relativamente recientes que probablemente hayan eliminado bastantes de las ramas con defectos más evidentes

Aunque pueden existir defectos en ramas pequeñas, no hemos realizado una evaluación exhaustiva de aquellas que eran de diámetros inferiores a 40 o 50 cm.

Algunos de los puntos que se ha detectado (a través de nuestra evaluación y del resto del equipo que ascendió al árbol) son:

- Rama en el lado N de grandes dimensiones con una fisura en un cambio de dirección. Este eje es quizá el de mayor diámetro con defectos importantes. La fisura esta generada por el corrimiento de las fibras en tensión en relación con las de compresión en la fibra neutra. Este tipo de fisuras se dan a consecuencia de un exceso de peso (a veces asociado al viento que puede hacer oscilar la rama y aumentar la carga debida al peso). Creemos que se debería hacer una inspección instrumental sobre este punto para determinar el riesgo de que el defecto se incremente. El incremento del defecto podría darse por la presencia de pudrición asociada a la fisura y/o evolución de la fisura hasta la superficie del eje.

Preventivamente se podría realizar un anclaje mediante la instalación de barras roscadas inoxidables que atraviesen la fisura perpendicularmente. Existe la posibilidad de colocar anclajes de cuerda o cables, sin embargo el impacto visual sobre el árbol seria excesivo y creemos que es mejor o bien reducir la rama o realizar el anclaje de varilla (si el análisis del estado de la rama no lo desaconseja).





- Eje con pudrición marrón en el interior: Uno de los ejes presenta un descortezamiento y necrosis que muestra una pudrición marrón en el interior. Este hecho podría darse en mas ejes en la zona de duramen, sin embargo no se tiene constancia de en que medida o posición podría darse. Un análisis pormenorizado usando en algunos puntos un resistógrafo podría permitir un mejor conocimiento del estado interno de los ejes.
- Ramas con la zona de tensión muy deteriorada y con baja vitalidad: algunas ramas de la zona alta del árbol, especialmente si se han quedado en el interior de la copa (con una cantidad de luz más reducida) están en regresión. La baja vitalidad de estas ramas hace que la inversión en madera sea muy reducida y por tanto la madera de compensación es prácticamente ausente. Estas ramas son las que actualmente representan un peligro más serio de rotura en el árbol. Si la zona de proyección de copa debe asegurarse deberían ser objeto de una poda de reducción, creemos sin embargo que la baja presencia de visitantes en esta zona permitiría dejarlas hasta su rotura, ya que no afectarían a la fisiología y estructura futura del árbol.
- Ramas y ejes secos: la presencia de ramas secas es habitual en los árboles viejos. En este caso sin embargo la presencia de ramas de este tipo es reducida (por la poda comentada) y también por la buena salud del árbol.

La mayoría de ramas secas son:

- De reducido tamaño y por tanto con una componente de riesgo muy baja
- Asociadas a ramas muy grandes pero sin vela, y con una probabilidad muy baja de que se rompan. Estas ramas son importantes ya que colaboran a configurar la estética del árbol. Recomendamos mantenerlas el máximo posible, si en algún caso se decide reducir las (no retirarlas) debería hacerse usando la simulación de rotura como técnica de corte y reduciéndolas parcialmente sin retirar. Si el árbol es monumental también lo es su madera y esta debe ser objeto del mismo espíritu de conservación que afecta al árbol entero.





Arbol
Investigación, y Gestión, S.L.

Inf. núm. 2010-00294-2

Arbol
Investigación, y Gestión, S.L.



5.5. Sistema radicular

No se ha podido valorar este punto debido a que no se han realizado inspecciones en la zona radicular. Se describen aquí las hipótesis que creemos se están dando en el Árbol del Tule.

d) Sistema radicular absorbente.

El sistema radicular absorbente está en buen estado. Su capacidad de aportar especialmente agua y nutrientes es óptima lo que está permitiendo la expansión de la copa. El sistema de riego instalado creemos que tiene una elevada importancia en la fisiología del árbol, este está adaptado a su presencia y lo usa de manera prioritaria. Esta adaptación supone, como contrapartida, un riesgo elevado si por algún motivo dejara de aportarse, ya que se generaría una elevada deficiencia con una importante repercusión en la fisiología. Debe, por tanto, ser objeto de una atención especial.



Por lo que hace al resto de sistema radicular absorbente, este se supone que se concentra en tres zonas:

- **Patio de arena del árbol:** en esta zona se han encontrado raíces finas en buen estado. Para optimizar su presencia y capacidad se propone eliminar los trabajos de retirada de la materia orgánica que el árbol produce para que se incorpore al terreno, esto reducirá la compactación y la compactibilidad del suelo. La densidad radicular y las cotas donde se concentra podría conocerse con catas de inspección realizadas con Airspade en distintos puntos de la zona de proyección de copa. Esta zona del patio es objeto de limpieza continua, este tipo de actuaciones de higiene no se corresponden con el sistema de funcionamiento natural. Recomendamos que se dejen de realizar o se hagan teniendo en cuenta la realidad del árbol.
- **Pavimentos:** la mayoría de pavimentos suelen tener **debajo** una capa con elevada humedad (debido a que evitan la evaporación) y elevada presencia de oxígeno, en esta zona se suelen desarrollar cabelleras de raíces absorbentes muy densas y funcionales. Este punto debería ser objeto de una inspección para comprobarlo.
- **Zonas de acumulación de materia orgánica dentro de la propia estructura del árbol:** una parte importante de los recursos que los árboles viejos obtiene proviene de la reconsumición de los propios restos, cualquier zona de acumulación de estos implica seguramente la presencia de raíces absorbentes.

Asociado a este sistema radicular absorbente hay un conjunto de raíces portantes o conductoras que se encargan de conducir al árbol lo que se absorbe en las raíces finas. La protección de estas raíces es muy importante ya que su pérdida implicaría una reducción de los aportes hídricos. Desde este punto de vista creemos importante citar una frase de Matheny y Clark sobre la protección de los árboles en obras: "la protección de los árboles durante las obras es la protección del sistema radicular de los árboles durante las obras".

e) Sistema radicular mecánico



El sistema radicular mecánico en tensión (habitualmente muy importante en la mayoría de árboles) no tiene mucho sentido en el Árbol del Tule, sus dimensiones y configuración de la base, hacen que no sea necesaria una tipología radicular encargada de transmitir los estreses de la copa al substrato ya que este se da de manera correcta a través de los esfuerzos de compresión.

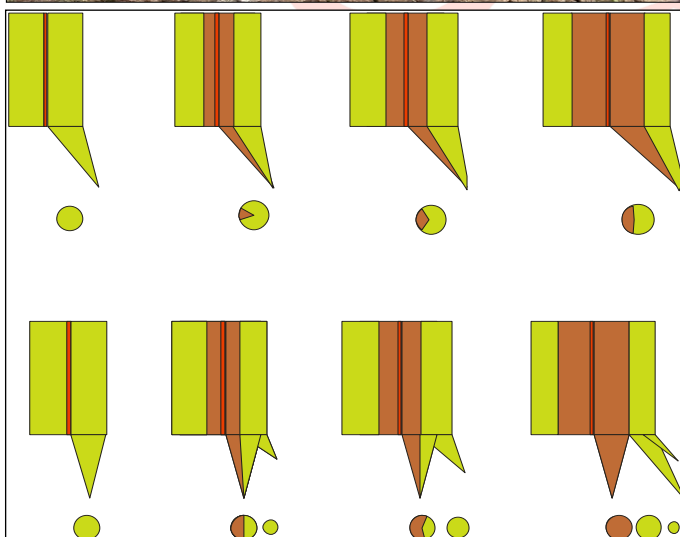
f) Sistema radicular de sustitución

El sistema radicular (sus raíces) está en constante evolución, las raíces viejas se deterioran y deben ser substituidas por raíces nuevas que nacen desde el cambium. Esta substitución radicular es la garantía de que existan siempre raíces jóvenes en crecimiento explorando el entorno y aportando los recursos que la copa necesita.

La zona de brotación de estas raíces de substitución es el cambium. Y este se encuentra en el límite exterior del tronco. Como la brotación se da en los primeros centímetros del suelo (principalmente) existe una franja de especial consideración y protección. El principal problema de esta zona es la compactación del suelo justo alrededor del árbol que puede dificultar el crecimiento en los primeros centímetros.

Creemos que debería hacerse alguna cata (con Airspade) para determinar la presencia de estas raíces y valorar la compactación de esta zona. Como medidas correctoras⁴ se podría:

- Eliminar el paso de visitantes cerca del tronco
- Colocar una capa de mulch en esta zona
- Disponer ramas o raíces enterradas o semienterradas, en contacto con el cuello, que actúen de puente para que las raíces salgan de la zona del cuello hasta el resto del entorno.
- Colocar un paso elevado para evitar la compactación.



⁴ Ver punto sobre las actuaciones que se recomiendan



Arbol
Investigación, y Gestión, S.L.

Inf. núm. 2010-00294-2

Arbol
Investigación, y Gestión, S.L.

Foto 51: fotografía del **Castaño Santo de Istán**, un *Castanea sativa* de unos 800-1000 años de edad (como mínimo), se observa como el sistema radicular está formado exclusivamente por raíces de sustitución en contacto con la albura, la erosión del suelo alrededor dificulta la aparición de nuevas raíces de sustitución lo que obliga al árbol a crecer migrando las raíces. **Gráfico 52:** esquema de dos modelos simplificados de cómo se da el acompañamiento radicular a la migración de la albura. En el primer caso las raíces migran con la albura y por tanto tienen una parte inactiva (colonizable) y otra parte activa y sana, en el segundo caso el acompañamiento de la albura se realiza mediante la generación de raíces nuevas que van substituyendo a las antiguas, mediante este segundo sistema las raíces tienen una sección intacta siempre

22



5.6. El árbol como nicho ecológico

Los árboles, especialmente los viejos, actúan como una máquina del tiempo conservando a muchos tipos de organismos que están asociados a él o a su actividad y estructura. Esta capacidad tiene un componente estructural y por tanto estético, ya que muchos de esos organismos viven en partes muertas del árbol que hay que conservar si se pretende un ecosistema – árbol lo más completo posible.

Una parte de estos organismos viven en el suelo, por tanto la propuesta realizada sobre el sistema radicular ya incide en esta dirección.

Para la conservación de los árboles desde el punto de vista de la arboricultura ambientalista una de las medidas generales es evitar los trabajos de limpieza. Los “trabajos de limpieza” es un concepto humano que

no se corresponde con la “higiene natural”, para que esta se dé de manera óptima se requiere de ecosistemas lo mas completos posibles, ya que la complejidad que se genera lo hace más capaz de responder a los estreses y cambios que se puedan generar en el entorno. Muchos de estos organismos son todavía desconocidos y ante este desconocimiento (de su importancia y función) hay que optar por la conservación.

De estos microorganismos son especialmente importantes los hongos y las bacterias ya que intervienen de manera muy importante en los procesos de reciclaje, defensas y aporte de nutrientes al árbol.



Desde el punto de vista ambientalista la arboricultura reconoce como valioso:

- Las cavidades
- Los tocones y ramas secas
- Las zonas de acumulación de hojas y restos del propio árbol (también en altura)
- Los crecimientos epicórmicos
- Los hongos xilófagos
- Los invertebrados, pajaros y micromamíferos que viven en el árbol,
- etc...

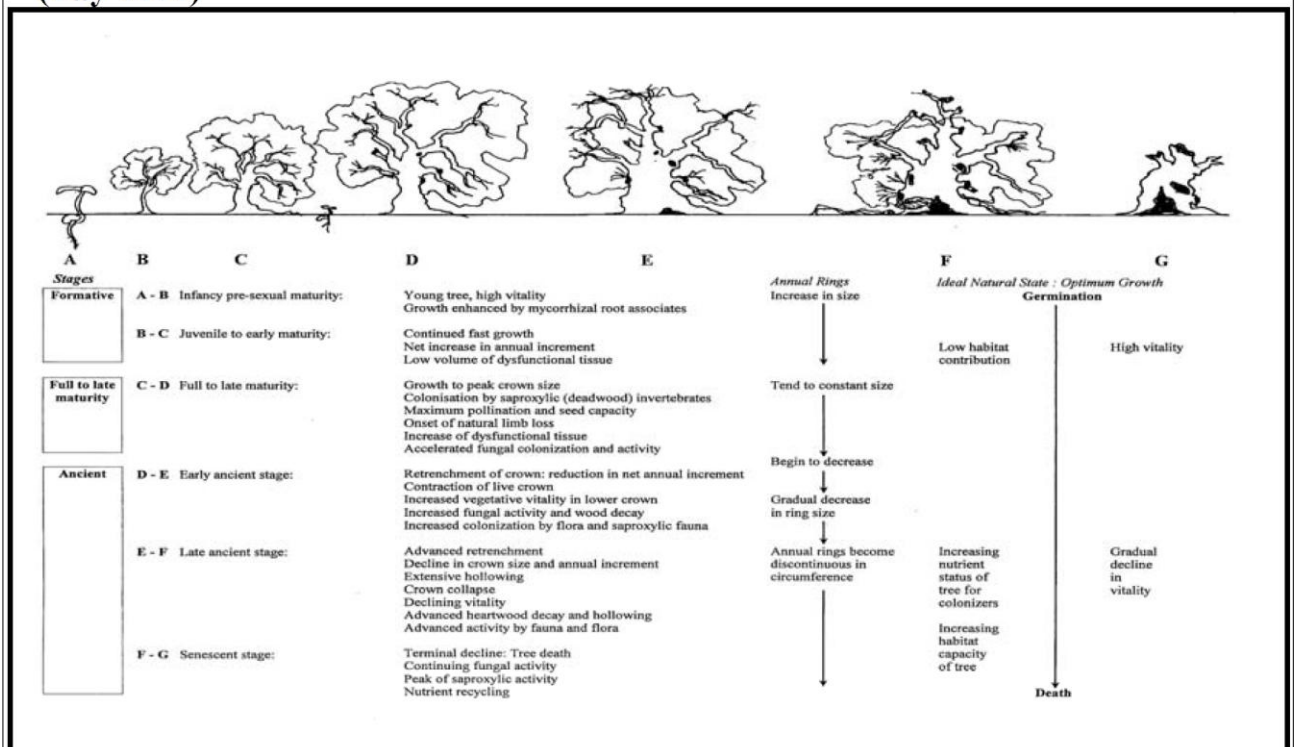
por tanto no deben ser rellenadas o tapadas las cavidades, tratadas con productos químicos, etc...

Ivy growth can smother epiphyte communities, but is a valuable nectar source at a time of year when little is available, and provides



winter roost cover for small birds and hibernation sites for insects in situations where other evergreens are scarce or absent. It may, however, inhibit the development of bracket fungi, and the decision on whether or not to remove ivy should be a carefully considered one.

Fig A: The Tree Ageing Process: From the perspective of developmental stages of a standard growing from seedling to death showing habitat (veteran) features (Fay 1997)





6. Actuaciones a realizar a corto plazo

Mulch is an organic material spread on the soil surface to protect roots from heat, cold, and drought. Mulching plants is both functional and decorative. Once you have chosen the right plant for a given site, and followed the proper planting procedures, you should mulch the plant and create a stable environment for root growth.

MULCH MATERIAL

What makes good mulch? Several factors should be considered when choosing mulch:

Texture. Medium textured mulch is best. Fine particles tend to pack down and retain moisture, which then evaporates before reaching plant roots. Coarse textured materials may be too porous to hold adequate amounts of water.

Nutrient value. Organic mulch improves soil structure by providing humus as it decomposes.

Availability. Consider the availability of different mulch material and whether you have to haul it yourself. Bulk materials may be available free from your community.

Aesthetics. The type of mulch used is a personal preference. Choose for yourself the look you desire.

BENEFITS OF MULCH

Provides an insulation layer. Mulched soils are warmer in winter and cooler in summer than bare soils. Roots are protected from temperature extremes, creating less freezing and thawing of the soil, which can heave and injure plants.

Conserves soil moisture. Bare soil surfaces heat up and cause water evaporation. A layer of mulch reduces moisture loss because it prevents sunlight from reaching and heating the soil. Mulch also insulates the soil from air currents that carry moisture away. Less watering is required during high summer temperatures.

Improve the soil's physical structure and fertility. Mulch increases organic matter in the surface of heavy clay soils and improves the water holding capacity of light, sandy soils. Mulch is converted to humus during decomposition and nutrients such as nitrogen and phosphorous are slowly released.

Prevent erosion. Unprotected soil disperses when hit with rain or sprinkler droplets. Mulch slows this dispersion, reducing water and soil runoff by holding water until it soaks into the soil.

Reduces root competition. In the Midwest, most of a tree's fine roots are in the upper 12-18 inches of soil. Applying mulch under trees and shrubs eliminates competition from other plants for water and nutrients. Turf roots are especially aggressive and pose the largest threat of competition to trees and shrubs. Create a "living" mulch by using plants that are more compatible with tree roots: bulbs, wildflowers, ferns, ground covers, and other herbaceous perennials.

Additional benefits of mulch include:

- protection from lawnmower damage
- recycles yard/landscape waste
- provides a more natural appearance of the landscape
- provides a favorable environment for earthworms and other organisms that benefit soil structure and fertility

POTENTIAL DISADVANTAGES OF MULCH

Problems may arise if mulch is used incorrectly. Consider the following points to make an informed choice and avoid problems:

Creates a barrier to oxygen and water. Plastic mulch prevents oxygen and water from penetrating the soil and should not be used unless they are porous and well ventilated.

Excessive moisture. Fine-textured mulch, such as peat moss, grass clippings, and sawdust holds a lot of moisture and should be used only in mixtures with other coarser materials.

Heat injury. Heat may radiate off dark-colored mulches that absorb heat during the day and lose heat at night as surrounding air temperatures fall. This heat may sometimes injure succulent plant tissue.

Soil temperatures. If applying mulch as winter protection, avoid applying too early in the fall, since mulch can slow up the freezing process by retaining heat in the soil. Furthermore, if applied too early in the spring, mulch can inhibit soil warming and delay root growth. As a general rule: wait until after a hard frost in the fall to apply winter mulch, and after the last frost in spring to apply summer mulch.

Weed seeds. Some types of organic mulch (e.g., straw, hay, manure, and some leaf litter mold) may harbor weed seeds and should be composted or otherwise treated before use so that weed seeds are eliminated.

Needs to be replenished. Organic mulch will need to be replenished as it decomposes. Depending on the material, this may be necessary each season or every 2-3 years.

In general, remedial action to prevent major failure = crown reduction

•In general, this should seek to be a one-off treatment, though it can be phased if appropriate (physiological and amenity considerations)

•Crown reduction is not suitable for all trees: tree specific assessment required: above all, subject must have adequate vitality to survive



•If not, then reduction can be used to render the structure stable as an invertebrate habitat

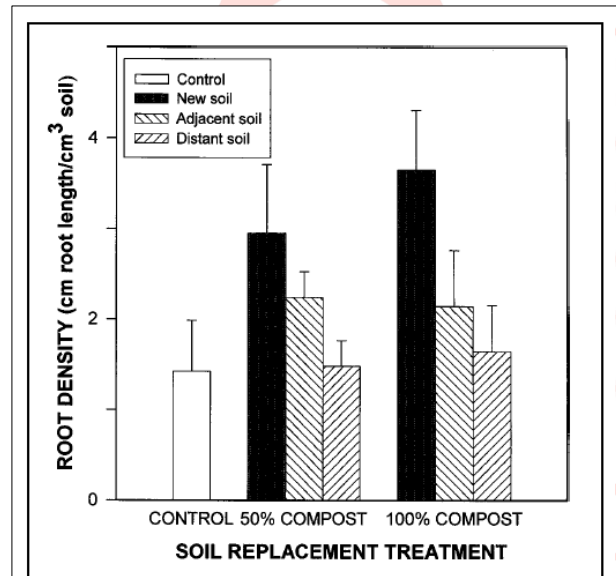


Figure 1. Root density 14 years after soil replacement treatment. Control locations were at least 6 ft (2 m) from the trenches. Adjacent and distant soil samples were centered 4 in. (10 cm) and 11 in. (27 cm) from the trenches, respectively.



7. Tendencia estructural del árbol

8. Actuaciones a medio / largo plazo



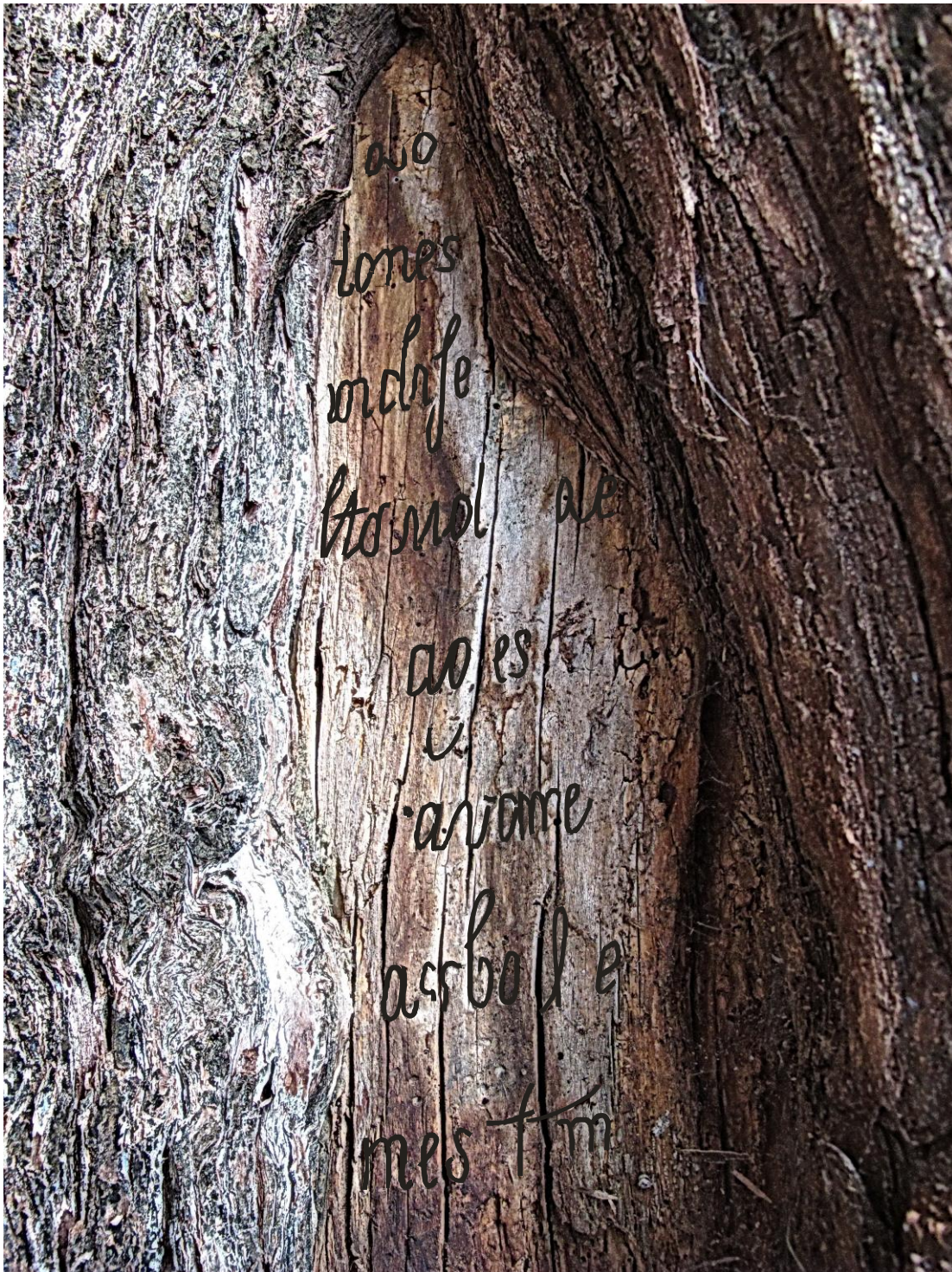
Anexo 1: Observaciones y Recomendaciones Sobre el Árbol Hijo del Árbol Principal de Santa María del Tule

Eduardo Medina



Anexo 2:

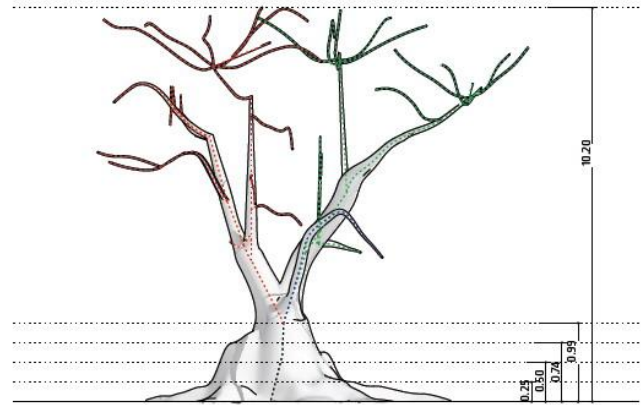
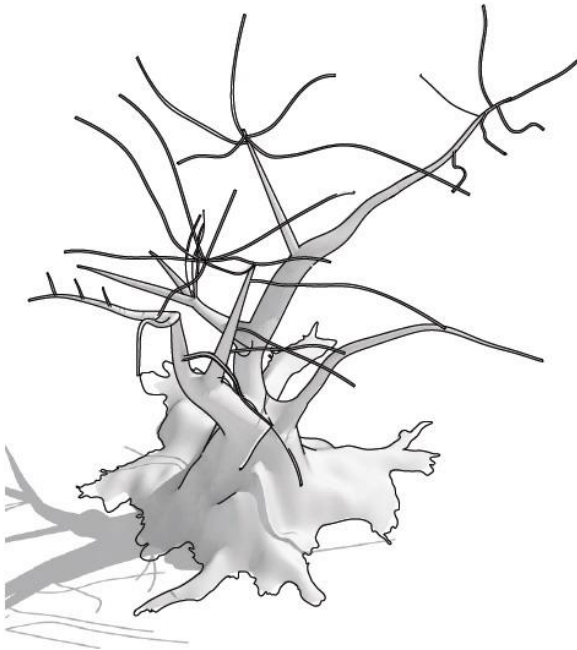
Imagen de una zona descortezada con una inscripción que se ha intentado resaltar:



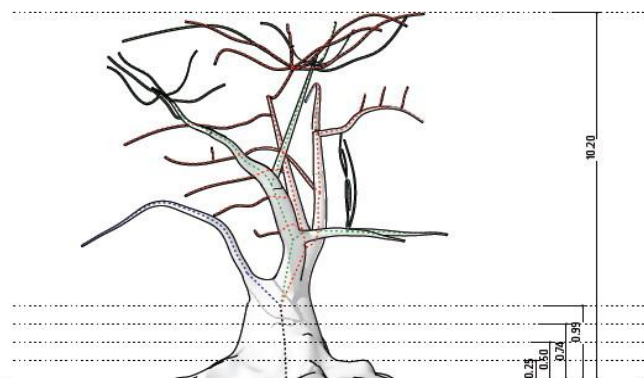
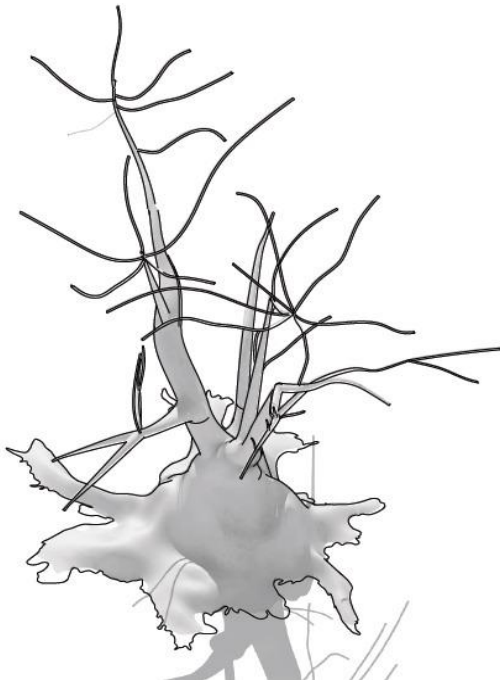


Anexo 3:

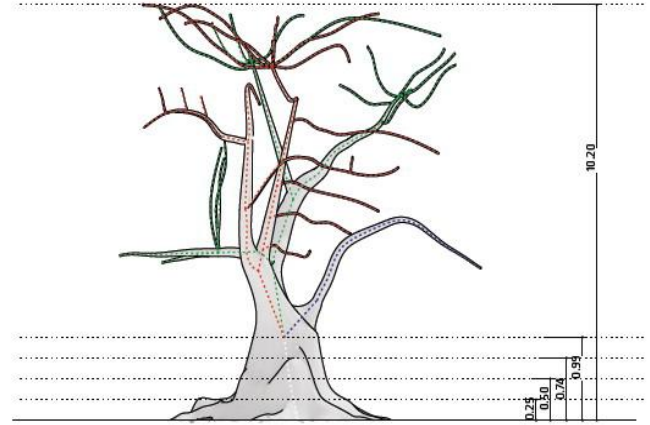
Análisis tridimensional de una Phytolacca desarrollado con el instituto IAAC (*Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya*)



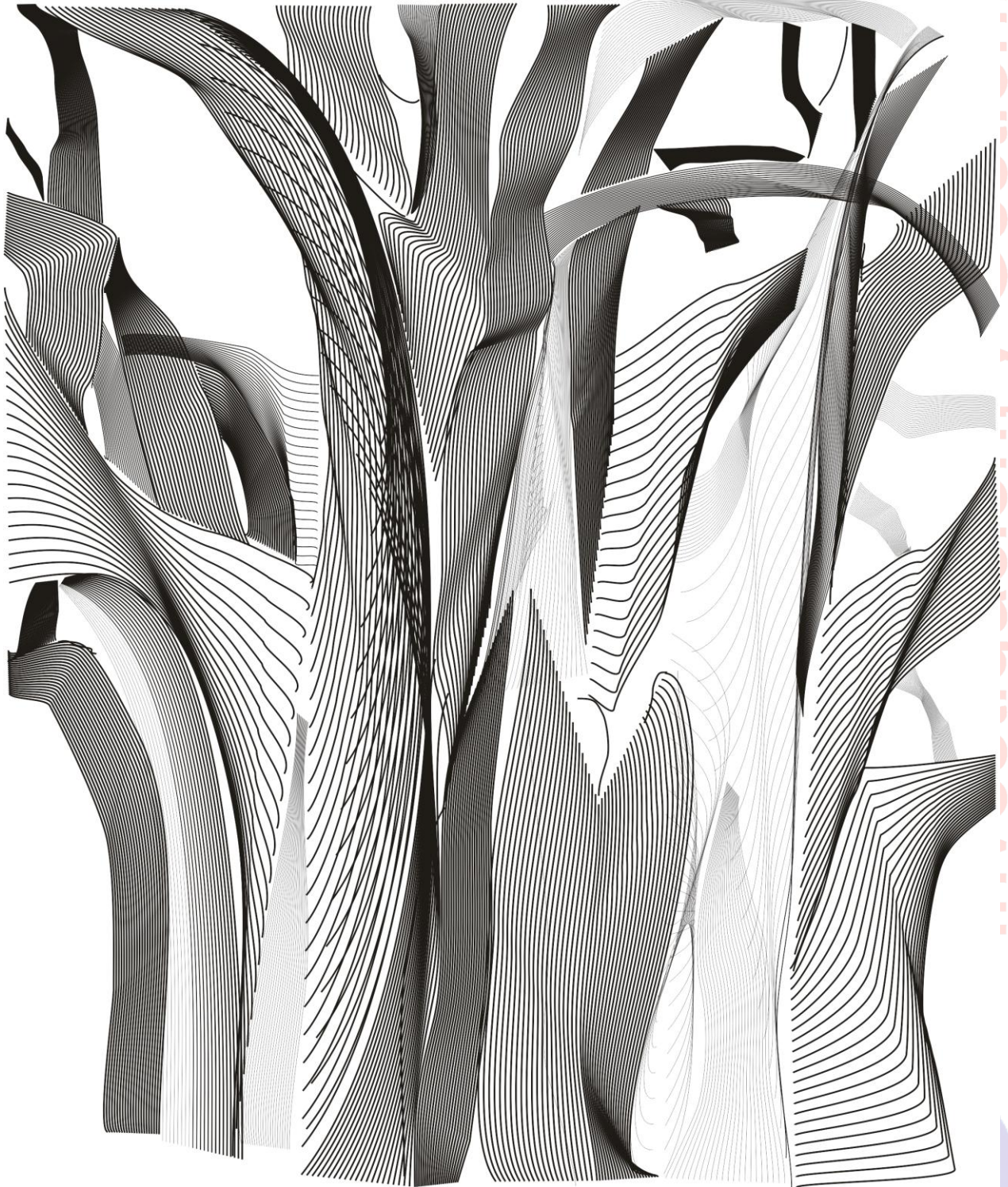
SOUTH-EAST ELEVATION



SOUTH-WEST ELEVATION



NORTH-EAST ELEVATION





Arbol
Investigación, y Gestión, S.L.

Inf. núm. 2010-00294-2

Gerard Passola i Parcerissa
Biólogo (Núm. Col. 16.860-C)
Consultor de arboricultura

Árbol, Investigación y Gestión, S.L.
www.doctorarbol.com

Sant Cugat del Vallès,

Árbol
Investigación, y Gestión, S.L.