

# Proyecto Fin de Máster Ingeniería Ambiental.

## Diseño del Sistema Climático Integral Corta de Aznalcóllar.

Autor: Miguel Ángel Alonso Benítez

Tutor: Julián Lebrato Martínez

**Dep. Ingeniería Química y Ambiental  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2015





Proyecto Fin de Máster  
Ingeniería Ambiental

# **Diseño del Sistema Climático Integral Corta de Aznalcóllar**

Autor:

Miguel Á. Alonso  
Benítez

Tutor:

Julián Lebrato  
Martínez  
Profesor titular

Dep. de Ingeniería Química y Ambiental  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
	<b>1.1 EL ACCIDENTE</b> .....	<b>1</b>
	<b>1.2 BASES DEL PROYECTO</b> .. ..	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><u>OBJETIVOS</u></b> .....	<b>4</b>
	<b>2.1 REGENERACIÓN NATURAL</b> .....	<b>4</b>
	<b>2.2 ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub></b> .....	<b>4</b>
	<b>2.2.1 FUENTES DE EMISIÓN Y SUMIDEROS DE CO<sub>2</sub></b> .....	<b>5</b>
	<u>FUENTES DE EMISIÓN</u> .....	<b>6</b>
	<u>SUMIDEROS DE CARBONO</u> .....	<b>6</b>
	<b>2.3 CAPTURA DE CONTAMINANTES EN SUSPENSIÓN</b> .....	<b>9</b>
	<b>2.4 REINTRODUCCIÓN DEL LINCE IBÉRICO (<i>Lynx pardinus</i>)</b> .....	<b>9</b>
	<b>2.4.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SITUACIÓN</b> .....	<b>10</b>
	- <u>SIERRA MORENA</u> .....	<b>10</b>
	- <u>DOÑANA-ALJARAFE</u> .....	<b>11</b>
	- <u>AREA DE REINTRODUCCIÓN DE GUADALMELLATO</u> .....	<b>12</b>
	<b>2.5 INTEGRACIÓN DE LA SOCIEDAD EN EL SCI</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b><u>ACTIVIDADES DE REMEDIACIÓN REALIZADAS</u></b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b><u>ESTADO ACTUAL DEL MEDIO</u></b> .....	<b>17</b>
	<b>4.1 AIRE</b> .....	<b>18</b>
	<b>4.2 AGUAS</b> .....	<b>20</b>
	<b>4.3 SUELOS</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b><u>EL SISTEMA CLIMÁTICO INTEGRAL</u></b> .....	<b>23</b>
	<b>5.1 MODELOS DE GESTIÓN Y SERIES DE VEGETACIÓN</b> .....	<b>23</b>
	<b>5.1.1 SECTOR NORTE O ARACENO-PACENSE</b> .....	<b>24</b>
	<b>5.1.2 SECTOR SUR O HISPALENSE</b> .....	<b>24</b>
	<b>5.2 BOSQUE LAGUNA</b> .....	<b>27</b>
	<b>5.2.1 SELECCIÓN DE ESPECIES</b> .....	<b>27</b>
	- <u>CARACTERÍSTICAS IDEALES DE LA</u> <u>VEGETACIÓN PARA LA ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub></u> .....	<b>28</b>
	- <u>CARACTERÍSTICAS IDEALES DE LA VEGETACIÓN</u> <u>PARA LA REINTRODUCCIÓN DEL LINCE IBÉRICO</u> .....	<b>31</b>
	<b>5.2.2 DISPOSICIÓN DE LAS PLANTACIONES</b> .....	<b>32</b>

5.2.3	<u>SIEMBRA</u> .....	34
<b>5.3</b>	<b>BOSQUE RECREATIVO</b> .....	<b>35</b>
5.3.1	<u>ÁREA SUR DE LA CORTA</u> .....	37
5.3.2	<u>ÁREA NORTE DE LA CORTA</u> .....	39
5.3.3	<u>SELECCIÓN DE ESPECIES</u> .....	40
5.3.4	<u>DISPOSICIÓN DE LAS ESPECIES</u> .....	42
5.3.5	<u>MEDIDAS DE ACONDICIONAMIENTO</u> .....	42
<b>5.4</b>	<b>BOSQUE DE LA SALUD</b> .....	<b>42</b>
5.4.1	<u>SELECCIÓN DE ESPECIES</u> .....	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>58</b>

# DISEÑO DEL SISTEMA CLIMÁTICO INTEGRAL

## CORTA DE AZNALCÓLLAR

### **1. INTRODUCCIÓN:**

El presente Trabajo se centra en proponer una alternativa que conduzca a la recuperación del entorno a la corta de Aznalcollar después del desastre de 1998. Entendiendo como recuperación del entorno no únicamente a las condiciones del sustrato, sino que involucra otros aspectos de influencia en el medio natural, deteriorado además de a causa del accidente, por la actividad minera en sí.

Se basa en el diseño de un sistema climático integral (SCI) que oriente dicha recuperación a una serie de objetivos, que pasan por conseguir, mediante una baja inversión económica, elevadas absorciones de CO<sub>2</sub>, reducir la exposición de los habitantes de Aznalcóllar a partículas nocivas en suspensión generadas por la actividad minera, y al mismo tiempo ser compatible con la reintroducción del lince ibérico en la zona, dada su importante localización en éste sentido. Se utilizará además la integración social como herramienta de apoyo a la ejecución del proyecto.

Se busca mediante la definición de éstos objetivos globales que las medidas tomadas para realizar el SCI tenga unas consecuencias más allá de restauración de la calidad de los suelos que abarca, incidiendo en la mejora climática, valores naturales y en la salud y mentalidad poblacional.

El proyecto girará en torno a una serie de plantaciones que se dividirán en núcleos boscosos de unas determinadas características, enfocados en conseguir el mayor rendimiento en el alcance de los objetivos.

En primer lugar se realizará una caracterización de las condiciones actuales de la zona de estudio, las inmediaciones de la corta de Aznalcollar y la zona afectada por la actividad minera y el accidente.

En cuanto al área minera de Aznalcóllar, se emplaza en la faja meridional de la faja pirítica ibérica, a unos 25 km al Oeste de Sevilla. Ésta franja comprende el mayor y más importante conjunto de yacimientos polimetálicos de Europa occidental.

El distrito minero de Aznalcóllar cuenta con más de 130 Mt (megatoneladas, equivalentes a 1.000.000 de toneladas) de sulfuros masivos pertenecientes a varios yacimientos que forman parte del denominado complejo Volcanosedimentario.

#### **1.1. EL ACCIDENTE:**

Como es bien sabido en éste área minera tuvo lugar un desastre natural de gran afección provocando un vertido de residuos tóxicos, el 25 de abril de 1998. Afectó en gran medida al parque Nacional y Natural de Doñana y a la población

de Aznalcollar, de 6.144 habitantes (año 2014) [10], originado por la rotura de la presa de la balsa de las minas de Aznalcollar, y cuya mineralización está compuesta principalmente de pirita con esfalerita, galena, arsenopirita, calcopirita, bourmonita, bolangerita, estannita y casiterita.

Las minas estaban, en el momento del accidente, siendo explotadas por la empresa Boliden-Apirsa, que adquirió la explotación de las mismas en 1987.

El sistema de explotación de las minas se basaba en la producción de concentrados zinc plata cromo y cobre a partir de menas piríticas, las cuales contenían además otros metales tales como arsénico cadmio y talio, entre otros. Para ello, se busca obtener un material suficientemente fino por medio de trituración de las menas piríticas, con el objetivo de separar los distintos elementos a través de un sistema de flotación que viene facilitado mediante la adición de dióxido de azufre, hidróxido de calcio y pentahidrato de sulfato de cobre.

El accidente viene precedido por un derrame de petróleo de unas 700 Tm que, ayudados por una leve corriente de agua se abrieron paso por el embalse hacia zonas situadas en el subsuelo del poblado. El fluido inflamable entró en combustión provocando graves daños en el poblado.

El dique de contención construido en la balsa de estériles, que contenía unos 31 millones de toneladas de fangos procedentes de los residuos del proceso minero, sufrió una rotura de unos 50 m de longitud, a través de la que escaparon más de 5 millones de m<sup>3</sup> de lodos piríticos (lodos con restos de piritas flotados) y aguas ácidas (con compuestos metálicos en disolución y suspensión) [9] que regaron el cauce del río Agrio, afluente del Guadiamar, el cual a su vez vierte al Guadalquivir cerca de su desembocadura. Éste recorrido hídrico tuvo como consecuencia el drenaje de agua contaminada sobre una parte importante del Parque Nacional y Natural de Doñana [3]. Concretamente se depositaron 1.98 millones de m<sup>3</sup> en la cuenca del Guadiamar [1]. Siendo el As, Cu, Zn, Cd y Pb los principales contaminantes encontrados en los suelos, de los cuales los tres últimos eran los de mayor solubilidad [26], afectando los ecosistemas, la comunidad biológica, y la población humana. [27] y [9].

En 2008 se la Junta de Andalucía estimó en 4.286 Ha de superficie afectada por el vertido, de las cuales 1.054 se estiman como vegetación forestal, dentro de la que se incluye pastizal, estrato herbáceo y vegetación de marisma. De la suma total, 98 Ha pertenecen al Parque Nacional de Doñana, mientras que 2.656 Ha forman parte del territorio englobado por el Parque Natural [1].

La mayor parte de la superficie afectada se concentra en tierras agrícolas, cuantificándose un total de 2.557 Ha afectadas, lo que supone casi el 60% del total de la superficie perjudicada por el vertido. Encontrándose un espesor máximo de capas de fangos de 2 m en algunos puntos cercanos a la zona del accidente [2].

Así mismo se determina que las pérdidas causadas por el accidente se debieron únicamente a bienes materiales y medioambientales, sin que hubiera que lamentar pérdidas humanas. No obstante el menoscabo a las condiciones medioambientales del entorno puede conllevar a perjudicar la salud de las poblaciones cercanas. [1].

Por otra parte, los resultados de los análisis realizados a las aguas superficiales de los ríos afectados indicaban que los valores de pH eran menores con respecto a los que poseían antes del accidente, además de un incremento de metales en disolución. Sin embargo, tras el análisis de las aguas subterráneas, con excepción de aquellos pozos que fueron cubiertos por los lodos, y la monitorización de éstas por la posibilidad de migración de contaminantes, se determinó que no sufrieron alteración alguna con respecto al estado previo al accidente. [1]

## **1.2. BASES DEL PROYECTO:**

Como sistema integral, se buscará que la mejoría de unos aspectos ambientales se haga orientada a la mejora de otros valores naturales o sociales.

De ésta manera, en lo relativo a la problemática de deterioro natural del medio natural, con una correcta gestión de regeneración mediante medidas como plantaciones de masas boscosas, estratégicamente situadas, se conseguirá cortar el flujo de partículas y moléculas de azufre en suspensión que potencien problemas de acidificación del entorno o daños para la salud de la población situada junto a las minas.

La regeneración de dicho entorno se hará con vistas a la mejora de otro aspecto natural con necesidad de mejora, como es facilitar la reintroducción del lince ibérico, el felino más amenazado del mundo y que representa el icono por excelencia de la fauna ibérica, y apoyando así al programa Life+IBERLINCE, de conservación y reintroducción del lince ibérico.

Además se utilizará para la siembra, en la medida de lo posible, especies vegetales con un alto índice de absorción de dióxido de carbono, aportando un grano de arena en lo concerniente a la problemática de exceso de producción de CO<sub>2</sub> generado por la utilización de combustibles fósiles.

El cumplimiento del objetivo de absorción de CO<sub>2</sub> planteado por el presente proyecto lo posibilitará para optar a subvenciones gubernamentales mediante su adhesión al PROGRAMA CLIMA [2], como una de las numerosas actividades propuestas que optan e ello y que están dirigidas a reorientar la actividad económica hacia modelos bajos en carbono, al mismo tiempo que contribuye al cumplimiento de los objetivos internacionales asumidos por España en materia de reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero. Es por ello que se crea el Fondo de Carbono para una Economía Sostenible en el artículo 91 de la ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía sostenible.



Por otro lado, se establecerán áreas para el ocio y la educación ambiental que con una correcta gestión, contribuirá a la generación de empleo.

En primer lugar hay que analizar la problemática y la situación exacta del medio en el que se desarrollará el Sistema Climático Integral Corta de Aznalcóllar, y posteriormente se determinarán y caracterizarán los aspectos más influyentes en la consecución de los objetivos establecidos. A continuación se llevará a cabo un análisis para estudiar la manera más efectiva de aplicar estos aspectos en el sistema e integrarlos entre sí, de forma que se puedan alcanzar con éxito cada uno de los objetivos planteados.

## **2. OBJETIVOS:**

Se exponen a continuación los objetivos globales que se quieren alcanzar, sus características y aspectos más importantes a considerar, además de un breve comentario con medidas para gestionar cada uno de ellos individualmente de forma que se cumpla cada objetivo con su máxima efectividad, para que, a la hora de integrarlos todos y tener que valorar los casos en los que varios de estos aspectos entren en conflicto, cuáles han de prevalecer sobre otros en función a su importancia y a las condiciones existentes, con el fin de obtener un resultado integral más efectivo.

Objetivos generales del proyecto:

### **2.1. REGENERACIÓN NATURAL:**

Todo el Sistema Climático Integral girará en torno a la regeneración natural de las inmediaciones a la corta de Aznalcóllar, con el objetivo principal, como ya se ha comentado, de minimizar el impacto de la actividad minera y de continuar las tareas de remediación que contrarresten los efectos producidos por el desastre del 98, intentando restaurar unos recursos naturales similares a los dañados.

Para ello se tratará de introducir el mayor número posible de áreas pobladas con vegetación autóctona, de bosque mediterráneo, que sustenten el ecosistema típico de éste área.

Éste regeneración natural estará orientada a alcanzar otros objetivos de índole ambiental que veremos a continuación.

### **2.2. CAPTURA CO<sub>2</sub>:**

En el contexto global, las emisiones de CO<sub>2</sub> ya no solo perjudican al medio ambiente y la salud humana, sino que además perjudica la economía de estado debido a la necesidad de nuestra nación en comprar derechos de emisión de CO<sub>2</sub>. España supera los límites establecidos, rebasando la brecha de emisiones que deberían haberse reducido y emisiones reales, llegando a un 13%,

significativamente mayor que la media europea que se sitúa en 1,9%, convirtiendo a nuestro país, junto a Austria, Luxemburgo y Liechtenstein, en el país que más dinero necesita gastar en compra de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> [11]. Como dato concreto, España lleva gastados entre 2008 y 2012 más de 800 millones de euros en comprar derechos de emisión [12].

Hay que considerar varios aspectos globales característicos de la situación actual con respecto al CO<sub>2</sub>, así como el funcionamiento de determinados mecanismos influyentes en el ciclo del carbono para justificar el objetivo planteado de captura de CO<sub>2</sub> y denotar su importancia.

Se denomina "efecto invernadero" al fenómeno por el que parte de la energía calorífica emitida por la corteza terrestre, es retenida y reflejada por determinados gases que forman parte de la atmósfera, impidiendo que se produzca un enfriamiento progresivo de la Tierra. Sin la actuación de estos gases, la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el calor emitido por el planeta se disiparía en el espacio produciendo unas temperaturas extremadamente bajas en la Tierra. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que, en su mayoría, son liberados por la industria, la agricultura, la ganadería y la combustión de combustibles fósiles.

El desarrollo industrial alcanzado en nuestro planeta ha supuesto que la concentración de estos gases haya aumentado hasta un 30% desde el siglo pasado provocando que la propia naturaleza se encuentre limitada a la hora de equilibrar las concentraciones de dichos gases en la atmósfera.

De todos estos gases, el CO<sub>2</sub> cobra especial relevancia por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo. Así, por ejemplo, del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años [28].

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO<sub>2</sub> atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. En general, se puede concluir que, las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera, en forma de CO<sub>2</sub>, y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo, en forma de humus, o en CO<sub>2</sub> a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa.

### 2.2.1. FUENTES DE EMISIÓN Y SUMIDEROS DE CO<sub>2</sub>:

Existen diversos factores que influyen sobre la cantidad de carbono acumulado tanto en la biomasa de las plantas como en el suelo. La tala de árboles y la quema de material vegetal que se aplican en los procesos de conversión de bosques a tierras agrícolas o ganaderas y, también en la

explotación maderera, liberan el carbono acumulado en las plantas y en el suelo y éste regresa a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>.

#### FUENTES DE EMISIÓN:

En la actualidad, el exceso de CO<sub>2</sub> modifica en balance final del ciclo de carbono descrito anteriormente, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas. Por una parte se produciría una captación del CO<sub>2</sub> de la atmósfera por parte de las plantas a través de la fotosíntesis. Por otra parte, la respiración de las plantas, las quemaduras y las talas para usos agrícolas incrementan en la atmósfera la concentración de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que unido a una tasa de deforestación alta y a las escasas medidas de reforestación aplicadas altera el balance entre emisión y captación. De esa manera la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera va aumentando. Estas emisiones netas del sector agrícola y forestal se suman a las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan al quemar combustibles fósiles en los sectores de transporte y generación de energía.

#### SUMIDEROS DE CARBONO:

Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de C por su función vital principal, la fotosíntesis. Mediante esta función, los vegetales absorben CO<sub>2</sub> que compensa tanto las pérdidas de este gas que se producen por la respiración como las emisiones producidas en otros procesos naturales (descomposición de materia orgánica).

La captación de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono (C). A escala mundial se considera que la biosfera terrestre fija cerca de 2.000.000 toneladas/año [29]. Este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción fotosintética de CO<sub>2</sub> y las pérdidas por respiración, por descomposición de la materia orgánica y por perturbaciones de diferente naturaleza. A este valor le se denomina producción neta de la biosfera (PNB), y es la cantidad que a largo plazo queda almacenada en el sumidero.

El CO<sub>2</sub> secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO<sub>2</sub> emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo

esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico.

- **El suelo:**

Para determinar el C secuestrado en los ecosistemas, hay que tener en cuenta el C estable incorporado al suelo. Si la acumulación de C en el suelo es un proceso más lento que la acumulación de la biomasa, la estabilidad del C en el suelo es mayor. Por lo tanto, la capacidad del suelo para almacenar C es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición, pasando a denominarse C del humus. La poda de los árboles y las hojas caducas puede contar como pérdida de carbono del cultivo si se retira de la plantación o se quema, mientras que, si la poda se descompone naturalmente en el suelo, se convierte en un medio eficaz de inmovilización de CO<sub>2</sub> a largo plazo. De hecho, un año después de agregar los residuos vegetales a la tierra, la mayor parte del carbono vuelve a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, sin embargo, de una quinta a una tercera parte del mismo permanece en el suelo, ya sea como biomasa viva o como el humus del suelo [30].

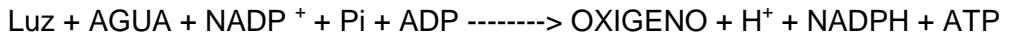
- **La fotosíntesis:**

La fotosíntesis es un proceso metabólico fundamental para todos los organismos vivos ya que consiste en el empleo de la energía luminosa para biosintetizar los componentes celulares. La energía solar constituye no solamente la fuente energética para las plantas verdes y otros autótrofos fotosintéticos, sino también, en último término, la fuente energética para casi todos los organismos heterótrofos, mediante la actuación de las cadenas alimenticias de la biosfera. Además, la energía solar capturada por el proceso de fotosíntesis es la fuente de cerca del 90 % de toda la energía empleada por el hombre para satisfacer las demandas de calor, de luz y de potencia, ya que el carbón, el petróleo y el gas natural, que son los combustibles utilizados para la mayor parte de la maquinaria fabricada por el hombre, son productos de descomposición del material biológico generado hace millones de años por los organismos fotosintéticos.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz mediante las llamadas reacciones luminosas o de luz. Esta fase requiere la energía directa de la luz para generar energía química y reductora que serán utilizadas en la segunda fase. La fase independiente de la luz (fase de oscuridad), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para, a partir del CO<sub>2</sub>, formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin. Este proceso de la fotosíntesis se produce en los cloroplastos de las células.

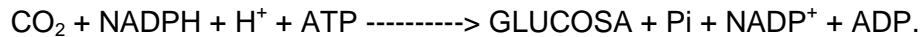
En las reacciones de luz, la captación de energía luminosa por los pigmentos que absorben la luz convirtiéndola en energía química (ATP) y

poder reductor (NADPH), requiere de una molécula de agua. Como consecuencia, se libera O<sub>2</sub> molecular. La ecuación general para esta primera etapa de la fotosíntesis es por lo tanto la siguiente:



En la segunda fase de la fotosíntesis, los productos ricos en energía de la primera fase, el NADPH el ATP, se emplean como fuentes energéticas para efectuar la reducción del CO<sub>2</sub> y producir glucosa. Como consecuencia se produce de nuevo ADP y NADP<sup>+</sup>.

Esta segunda etapa de la fotosíntesis se esquematiza en términos generales como:



Esta reacción se lleva a cabo por reacciones químicas convencionales, catalizadas por enzimas que no necesitan la luz. En las reacciones de oscuridad, el CO<sub>2</sub> de la atmósfera (o del agua en organismos fotosintéticos acuáticos/marinos) es capturado y reducido por la adición de hidrógeno (H<sup>+</sup>) para la formación de carbohidratos (CH<sub>2</sub>O). La incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos, se conoce como fijación o asimilación del carbono. La energía usada en el proceso proviene de la primera fase de la fotosíntesis.

Los seres vivos no pueden utilizar directamente la energía luminosa, sin embargo, a través de una serie de reacciones fotoquímicas, la pueden almacenar en la energía de los enlaces C-C de carbohidratos, que, más tarde, será liberada mediante los procesos respiratorios u otros procesos metabólicos.

Fijación de carbono en plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y CAM:

Dependiendo del tipo de fijación de CO<sub>2</sub>, la planta tendrá un metabolismo distinto y por lo tanto, se clasifican en plantas C-3, C-4 ó CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua y como la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> es diferente.

- Plantas C-3: Se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO<sub>2</sub>, lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis.

- Plantas C-4: Se caracterizan por tener los estomas abiertos de día. Al poseer intermediarios de bombeo de CO<sub>2</sub> en la célula, pueden

permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO<sub>2</sub>.

- Plantas CAM: Estomas abiertos por la noche. Las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. También poseen reservorio de CO<sub>2</sub>, con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve una disminución fotosintética. Las propiedades de las plantas C-4 y CAM les permiten una supervivencia en entornos con déficit hídrico.

### **2.3. CAPTURA DE CONTAMINANTES EN SUSPENSIÓN:**

Se llevará a cabo a través la siembra de una masa de vegetación, estratégicamente situada, que cumpla la función de barrera mecánica contra el flujo de partículas en suspensión y otras especies químicas que puedan provocar efectos nocivos en la salud de los ciudadanos de la población.

Estos elementos contaminantes son primordialmente moléculas sulfurosas que, tras ser liberadas por la actividad minera y los aún existentes lodos piríticos, promueven la acidificación del ambiente e incluso podrían llegar a generar lluvia ácida. Para ello, y como se verá en adelante, será conveniente la siembra de especies arbóreas que, además de ser tolerantes al entorno donde serán sembradas, sean frondosas, altas y con un crecimiento rápido para una mayor efectividad.

### **2.4. REINTRODUCCIÓN DEL LINCE IBÉRICO (*Lynx pardinus*):**

El sistema climático integral del entorno a la corta de Aznalcóllar, incorporará medidas encaminadas a contribuir con uno de los programas de conservación más importantes de Andalucía y de España: el proyecto “Europa Life+IBERLINCE, de conservación y reintroducción del lince ibérico”, que tratará de incorporar nuevas poblaciones de lince ibérico mediante su reintroducción a corto plazo en áreas de Portugal, Extremadura, Castilla-La Mancha y Andalucía, y de asegurar la comunicación entre ellos [24].

Dicho proyecto se lleva a cabo mediante el trabajo conjunto del personal del programa “Europa Life de Conservación y reintroducción del Lince Ibérico (*Lynx pardinus*) en Andalucía” y los Centros de Cría en Cautividad del Lince Ibérico de España y Portugal.

Como se verá en adelante, e SCI Corta de Aznalcóllar, se encuentra en un lugar con gran relevancia para el paso del felino, razón que nos empuja utilizar el SCI como herramienta para facilitar las labores del personal del programa Life+IBERLINCE.

#### 2.4.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SITUACIÓN:

En 1988 se delimitó con detalle el área de distribución del lince ibérico a partir de datos del periodo 1978-1988 obtenidos por los expertos Rodríguez y Delibes. La especie ya estaba restringida a una pequeña parte del cuadrante suroccidental de la península Ibérica: 11.700 km<sup>2</sup> de uso regular (reproducción) más 3.900 km<sup>2</sup> de uso transitorio. El área de distribución se hallaba fragmentada en 48 núcleos de población muy distintos en tamaño, que en conjunto contenían entre 880 y 1150 individuos, ó 350 hembras adultas, según Rodríguez y Delibes. Tres cuartas partes de los núcleos de población ocupaban áreas inferiores a 200 km<sup>2</sup>. Los 48 núcleos de presencia estable se agrupaban en nueve poblaciones entre las que Rodríguez y Delibes estimaron un escaso intercambio demográfico y genético. La gran población central, situada en Sierra Morena oriental y Montes de Toledo, que contenía el 62% del área de distribución y el 71% de la población total, estaba rodeada por poblaciones menores en Sierra Morena central y occidental, así como en las cadenas montañosas circundantes (Sistema Central, Sierra de San Pedro, Sierras Béticas) y en la planicie de Doñana.[22]

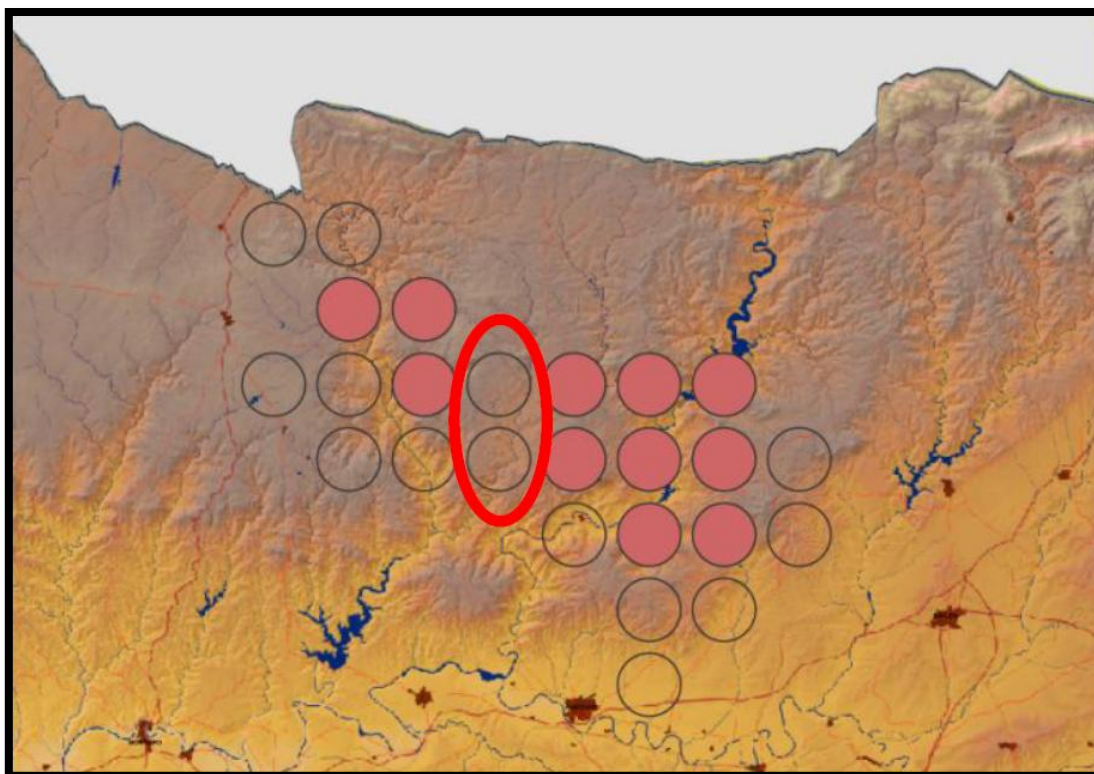
Posteriormente, tras el censo realizado en 2010 para conocer el estado de las poblaciones y poder realizar una valoración del éxito de las actuaciones de conservación ejecutadas en el área de actuación del Proyecto Life Naturaleza “Conservación y Reintroducción del Lince Ibérico (*Lynx pardinus*)”, se obtuvieron los siguientes resultados:

##### SIERRA MORENA:

La población de lince ibérico de Sierra Morena se distribuye en parte en los parques Naturales de Cardena-Montoro (Córdoba) y de la Sierra de Andújar (Jaén), aunque también existe un número importante de ejemplares al este del los límites del Parque Natural de la Sierra de Andújar (en el LIC Cuencas del Rumbiar).

##### ▪ **Evolución del área de presencia estable:**

Si se compara la superficie con presencia de lince ibérico en el año 2004 (en este año todas las fincas con presencia de lince estaban dotadas de Convenio de colaboración) con los datos de 2010, se puede comprobar que la superficie se ha incrementado en un **73%**, pasando 153 Km<sup>2</sup> en 2004 a 264 Km<sup>2</sup> en 2010.



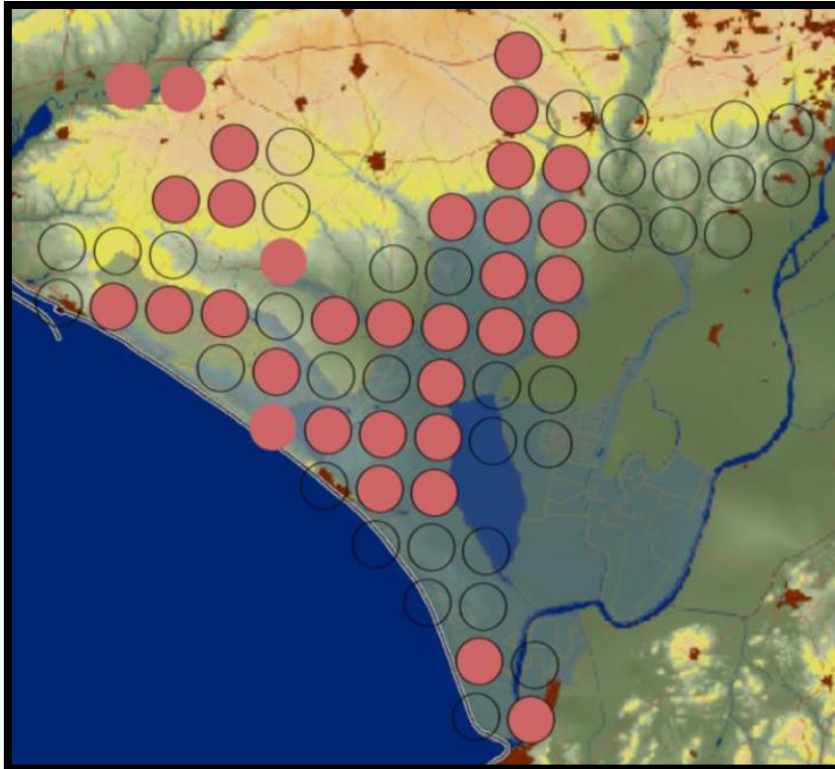
Cuadrículas 5x5 km con presencia estable de Lince en Sierra Morena: círculos rosas, m 2004; círculos huecos, 2010.  
**Fuente:** censo censo de la población de lince ibérico en noviembre 2010. Junta de Andalucía.

### DOÑANA-ALJARAFE:

La población de Doñana-Aljarafe no presenta un núcleo tan bien definido como la de Sierra Morena, sino que se comporta como una metapoblación compuesta por varios núcleos. La ubicación de estos núcleos es independiente de la figura de protección del espacio, y por tanto, hay núcleos dentro del Espacio Natural de Doñana, núcleos fuera del Espacio Natural de Doñana y núcleos a caballo entre el Espacio Natural de Doñana y fuera del mismo. Estos núcleos no permanecen aislados y cerrados, sino que por el contrario hay un movimiento relativamente fluido de ejemplares de un núcleo a otro.

Para determinar la evolución del área con presencia estable, en el año 2010 se compara la superficie con presencia de lince ibérico en el año 2004 (en este año todas las fincas con presencia de lince estaban dotadas de Convenio de colaboración) con los datos de 2010, se puede comprobar que la superficie se ha incrementado en un 156%, pasando 174 kilómetros cuadrados en 2004 a 445 kilómetros cuadrados en 2010.





Cuadrículas 5x5 km con presencia estable de Lince en Doñana: círculos rosas, m 2004; círculos huecos, 2010. **Fuente:** censo de la población de lince ibérico en noviembre 2010. Junta de Andalucía.

### ÁREA DE REINTRODUCCIÓN DE GUADALMELLATO:

La zona de Guadalmellato (Córdoba) fue seleccionada como área potencialmente apta para la reintroducción mediante un proceso que empezó en 2005 y en el que se siguió en todo momento la Guía para Reintroducciones de la IUCN. Es de destacar la calidad del hábitat, las altas densidades de conejo (> de 6 conejos/ha) y el fuerte apoyo social a la reintroducción (>90% de la población local) [23].

Se ha sugerido que una menor variedad en los morfotipos de pelaje podría reflejar una pérdida de variabilidad genética derivada del aislamiento de la población de Doñana [33]. Consistentemente, se ha detectado una pérdida de heterocigosidad de la población de Doñana, que puede reflejar consanguinidad elevada y pérdida de alelos [34]. De no ser por el trabajo elaborado en pos de la conservación del lince a través de los programas ya mencionados, el empobrecimiento genético se prolongaría inevitablemente en el tiempo para éstas poblaciones aisladas que cuentan con un número insuficiente de individuos, hasta llegar a la extinción.

La dieta del lince ibérico se compone casi exclusivamente de conejos de monte, con independencia de la localidad, el año o la estación. No existe ninguna evidencia de una presa que pueda sustituir al conejo cuando éste se hace escaso.

Por debajo de un umbral de abundancia de conejos, la población de lince responde numéricamente (comienza a decrecer) hasta la extinción. Un modelo energético calcula que la cantidad de energía que necesita un individuo para su actividad diaria se corresponde con la energía contenida en un conejo de campo de tamaño medio. Las hembras con crías necesitan un mayor aporte diario. Se ha estimado que la densidad umbral de conejos por encima de la cuál una población de lince puede mantenerse estable es alrededor de 1 conejo/ha en otoño, la época del año con menor abundancia de conejos.

Debido a la localización geográfica en la que se encuentra Aznalcóllar constituye un área clave para el tránsito del lince ibérico que interesa en gran medida reforzar. Ésta importancia se debe a que el recorrido natural dispersivo de las poblaciones estables y las potencialmente estables según el programa pasan y se cruzan precisamente en las inmediaciones del SCI:

- El flujo de individuos de Doñana a Sierra Morena y viceversa es el más importante en éstos momentos, ya que facilita el intercambio genético con los dos únicos núcleos poblacionales existentes, de los cuales uno de ellos aún no es genéticamente viable.
- Comunicación a través de Aznalcóllar del futuro núcleo poblacional de Portugal (también en Portugal existe un Centro de Cría en Cautividad, emplazado más concretamente en Silves) con las poblaciones Españolas.
- Salida de los individuos en dispersión que lleguen al entorno de Aznalcóllar de cualquiera de las poblaciones antes mencionadas hacia Extremadura, donde se están llevando a cabo importantes esfuerzos para la conservación del Lince, albergando incluso uno de los tres centros de cría en cautividad en España, en la Zarza de Granadilla.

En el siguiente mapa se muestra la localización de los 2 núcleos poblacionales de Andalucía (Doñana y Sierra Morena) que para su conservación necesitan enriquecer su material genético, con la llegada de nuevos individuos en dispersión.

Se referencia también la zona de Guadalmellato, ya seleccionada para su reintroducción y el Corredor Verde del Guadamar, utilizado por los ejemplares en dispersión del lince ibérico para su desplazamiento desde Doñana, y que acaba a la altura del SCI.



Es por tanto de vital importancia para el linco ibérico asegurar un paso seguro por ésta zona de intersección en la que se sitúa Aznalcóllar, medida que podría ser determinante en la lucha contra el empobrecimiento genético de la especie y por ende jugar un papel fundamental en su dispersión por la península y conservación.

Para reforzar esta zona, facilitar el trabajo realizado por el programa Life+IBERLINCE, no solo en el aspecto de poner en contacto a las poblaciones de Doñana y Sierra Morena para provocar el intercambio genético de ambas poblaciones, y de facilitar el tránsito hacia los potenciales núcleos estables, sino que además se contribuirá con las tareas que, según los expertos, juega un papel fundamental: conseguir un apoyo mayoritario de la población y de colectivos locales, a través de medidas de información, educación, actividades programadas y promover el establecimiento de convenios de colaboración con distintas administraciones y colectivos influyentes en el entorno.

Para conseguir el objetivo marcado, el área seleccionada ha de cumplir con las condiciones establecidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) que hagan de la zona en cuestión un entorno óptimo para el establecimiento poblacional del felino.

Para la selección de un área determinada a la hora de reintroducir ejemplares del linco ibérico que han sido criados y entrenados para la vida en libertad en las instalaciones de los centros de cría en cautividad existentes en la península. El programa Life+IBERLINCE se basa en las consideraciones de la UICN para

analizar una serie de aspectos, ponderarlos según su importancia y finalmente clasificar dichas áreas como más o menos favorables para la reintroducción. Éstas características se tomarán como guía con vistas a facilitar el establecimiento y tránsito del lince en el entorno de Aznalcóllar:

- Existencia de evidencias corroboradas que aseguren la presencia en el pasado del felino en la zona.
- Entorno apto y cómodo: Presencia de agua, zonas altas para avistamiento y vigilancia y la obligatoria presencia de bosque mediterráneo con la existencia de matorral, cuya presencia se hace imprescindible ya que proporciona al felino el cobijo necesario para resguardarse de las largas horas de calor en verano, y de las épocas de lluvia, además de ser un lugar muy solicitado por éstos para guarecer a sus camadas. Por otro lado, el matorral es fundamental para la presencia de la presa base de su dieta, el conejo, sin el cual se dificulta enormemente la presencia del lince.
- Presencia abundante de conejos: aspecto imprescindible ya que la dieta del felino se basa en el consumo de éste, compaginándolo con algunas otras presas en momentos de escasez, siendo la necesidad mínima para el mantenimiento estable alrededor de 1 conejo/ha en otoño, la época del año con menor abundancia de conejos.
- Presencia humana limitada: Debido a que la presencia antrópica es una de las causas del abandono del lince de determinadas áreas.
- apoyo local de la población: Fundamental para asegurar la conservación del animal.

## **2.5. INTEGRACIÓN DE LA SOCIEDAD EN EL SCI:**

Se procederá al establecimiento de una serie de actividades de ocio y tiempo libre que, por una parte mejoren la concienciación y genere puestos de trabajo, mejorando la acogida del proyecto por parte de la población y la administración y por otra, nos valga como método de control del tránsito de la población, ya que se delimitarán zonas donde el acceso esté relativamente controlado, tratando así, de favorecer al objetivo anteriormente mencionado de la reintroducción del lince ibérico.

## **3. ACTIVIDADES DE REMEDIACIÓN REALIZADAS:**

La utilización como herramienta de la experiencia otorgada por las actuaciones realizadas por la administración y empresas encaminadas a la recuperación del entorno, supone un aspecto de gran relevancia para el presente documento a la hora

de la toma de decisiones, especialmente en lo relativo a retirada de los lodos y materiales contaminados asentados en la superficie del terreno.

En primer lugar se llevó a cabo la construcción urgente de un muro de contención, en la zona fracturada, el cual hubo que ser incrementado en tamaño debido a que sufrió un rebasamiento de las aguas contenidas [1].

En vista de la urgencia requerida en la retirada de lodos, dado el riesgo que suponía para la salud y el medio ambiente su permanencia en el terreno, la administración general del estado y la junta de Andalucía, a través de la recién creada comisión de coordinación decidió dividir por tramos la superficie afectada en la cuenca del Guadiamar. De manera que la retirada de lodos del cauce del río Guadiamar y los terrenos agrícolas situados al Norte de la antigua carretera de Sevilla a Huelva la llevara a cabo la empresa Boliden Apirsa, S.L. mientras que los tramos inferiores y zonas de dominio público serán objeto de limpieza para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), y el resto de terrenos agrícolas situados hasta el final del área afectada por los lodos para la Consejería de Agricultura y pesca [7].

Se realizaron las labores de retirada de lodo mediante maquinaria pesada marcándose como objetivo que la finalización de éstas tareas tuviera lugar con anterioridad al periodo de lluvias otoñales, evitando así que la crecida del río Guadiamar desplazara los contaminantes hasta el interior del Parque Nacional de Doñana.

Se inician en los tramos de dominio público hidráulico a primeros de mayo de 1998, a través del Proyecto de retirada de lodos en cauce y márgenes de la CHG", actividad que hizo necesarias la expropiación de algunos terrenos situados en una franja paralela al cauce. En cambio, las labores a realizar en las zonas agrícolas requerían de actuar en fincas privadas, razón por la que tales trabajos no se pudieron iniciar hasta primeros de julio del mismo año [7].

Se determinó en 1.981.850 m<sup>3</sup> el volumen total de lodos depositados sobre una superficie de 2616 ha a lo largo de algo más de 40 km, con espesores que variaban desde pocos milímetros a más de un metro, concentrándose el 62% del total del volumen de lodos (unos 1560 m<sup>3</sup>/ha de media), mientras que en el tramo Sur se encontraban una media de entre 400-500 m<sup>3</sup>/ha [7].

La retirada de lodos de la cuenca del Guadiamar pudo darse por finalizada el 31 de diciembre de 1998, sin embargo, la Comisión de Coordinación declaró que era necesaria una nueva limpieza en el área de afección, con el objetivo de eliminar los contaminantes aún remanentes [7].

Se logró con la retirada de lodos rebajar la contaminación sensiblemente, aunque para las muestras de 0-10 cm la contaminación permaneció por encima de los valores medios producidos con la contaminación inicial. Los horizontes de 10-30 y 30-50 si obtuvieron concentraciones por debajo de éstos, aunque siempre permanecieron más altos que los de los suelos no afectados por el vertido [9].

Se tomo, además la medida de cerrar la zona afectada, para delimitar un Corredor Verde que facilitara la unión de las marismas del río Guadalquivir y Sierra Morena [9].

Se inicio, por tanto, una segunda limpieza que tuvo lugar entre los meses julio a octubre de 1.999, tras cuya finalización se certificó una limpieza del 100% en el tramo Norte del rio y un 60% en el tramo Sur. Con ésta campaña se consiguió extraer de la cuenca del Guadiamar unos 820.000 m<sub>3</sub> de material contaminante, que fueron posteriormente transportados a la Corta de Aznalcóllar [7]. La campaña de re-limpieza se compaginó con la aplicación de encalado generalizado por toda la cuenca afectada. Para ello se procedió al arado del suelo con el objetivo de disminuir la concentración de contaminantes centrada en los horizontes 10-30 y 30-50 con una adicional mezcla de encalante (espuma de azucarera) (Aguilar *et al.*, 2003a). Ordóñez *et al.* (2005) [9].

Se puede comentar que en líneas generales éstas medidas consistentes en la adición de enmienda caliza permitió la inmovilización de metales en los suelos afectados por el vertido, debido a que con ella se consiguió incrementar el pH en una o dos unidades, lo cual permitió reducciones de hasta un 50% del contenido de metales solubles en muchos los suelos. Sin embargo, la desigualdad de la contaminación y los diferentes grados de toxicidad en varios puntos, no permitió utilizar la misma cantidad de encalante en todos los suelos [9].

Se prosiguió con una tercera etapa de remediación llevada a cabo en primavera – verano del año 2000. En ésta etapa, además de volverse a limpiar las zonas con mayor concentración de metales pesados se añadieron materiales orgánicos y arcillosos ricos en hierro mediante un nuevo arado, esta vez a una profundidad de 20 cm. Con estas medidas se logró disminuir la contaminación por debajo de la alcanzada en la contaminación inicial, pero el As seguía en concentraciones preocupantes en los suelos [31].

Por último se llevaron a cabo medidas basadas en fitorremediación para las zonas contaminadas, donde se procedió a la siembra de gramíneas, arbustos, especies arbóreas y otras plantas nativas con el fin de que contribuyeran a la absorción y acumulación de los metales pesados contenidos en los suelos. Con ésta medida no se obtuvieron resultados tan efectivos debido a que muchas plantaciones no llegaron a desarrollarse [9].

#### **4. ESTADO ACTUAL DEL MEDIO:**

En la actualidad se está llevando a cabo el proyecto de Red de Saneamiento del entorno de Doñana, que permita la adecuación y renovación de las infraestructuras de saneamiento ante las nuevas necesidades encontradas en el área [8]. Si bien se han estado realizando importantes esfuerzos en la remediación de las consecuencias producidas por el accidente, no han sido efectivas en su totalidad, siendo aun necesarias medidas de remediación en muchos aspectos.

#### 4.1. AIRE:

Para el control y vigilancia de la calidad atmosférica, se continuó el Programa de Estudio de la Calidad del Aire, de la Consejería de Medio Ambiente, con mediciones de valores de inmisión para partículas en suspensión y metales pesados (As, Cu, Fe, Pb), en siete estaciones de muestreo, siguiendo la norma del RD 1.321/1992, la cual dispone que los límites máximos exigidos no han de superar los 150 microgramos por milímetro cúbico para la media aritmética de los valores medios diarios registrados durante un año y 300 para el percentil 90 de todos los valores medios anuales [6].

Los resultados que se obtuvieron de dichos muestreos no superaban los límites admisibles establecidos por la legislación, con excepción de 2 días en los que se superaron los valores para el punto A11, así como un día para los puntos A5 y A10 cada uno (Tabla1). Por tanto se estableció una situación no alarmante con respecto al riesgo de salobridad atmosférica de la zona, no obstante los valores registrados superaban la media anual de éstos contaminantes obtenida con anterioridad al desastre. [6].

Punto de muestreo	As	Cu	Fe	Pb
A1	0,0135	0,0368	2,5186	0,0630
A2	0,0190	0,0425	0,1675	0,0597
A3	0,0061	0,0344	2,8791	0,0446
A4	0,0158	0,0389	2,5651	0,0580
A5	0,0396	0,0615	5,3730	0,1281
A10	0,0593	0,1046	8,4784	0,1696
A11	0,1343	0,1137	14,0620	0,3370

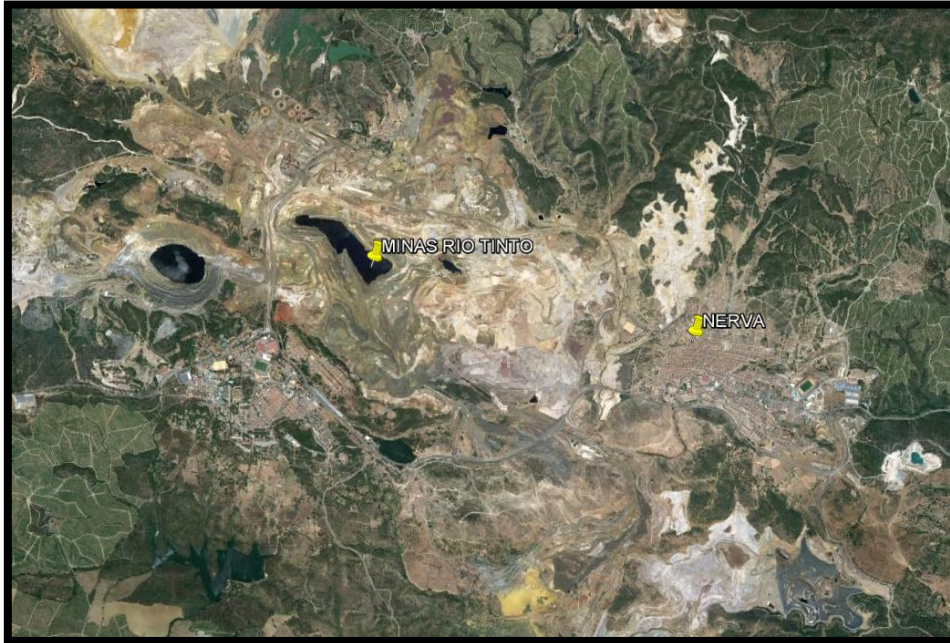
Punto de muestreo	Periodo de muestreo	Media del periodo	Máxima del periodo	Nº de días <300
A1	21/5-13/10	90	239 (31/8)	0
A2	id	84	266 (31/8)	0
A3	id	126	281 (31/8)	0
A4	id	82	284 (31/8)	0
A5	25/5-13/10	126	<b>368 (31/8)</b>	1
A10	3/8-13/10	181	<b>438 (31/8)</b>	1
A11	4/8-13/10	150	<b>388 (31/8)</b>	2

**Tabla 1.** Valores de metales en cada punto de muestreo (microgramos / m<sup>3</sup>).

**Fuente:** Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía (1998).

Cobra especial interés la revisión y análisis de otros estudios de casos de localidades cercanas que puedan contribuir en la toma de decisiones. Con este objetivo hacemos un paralelismo con el caso de Nerva, localidad situada a menos

de 3km en línea recta de las minas de Riotinto, y a unos 30 Km de Aznalcollar, perteneciente además a la misma faja pirítica que le confiere al área todo el interés por parte de la industria minera.



En el estudio en cuestión se pone de manifiesto, entre otras cosas, la problemática referente a la calidad del aire, la cual se ve perjudicada por la actividad minera de las proximidades, provocando un incremento notable de las partículas en suspensión, realizándose además una cuantificación de los niveles de otros compuestos nocivos en la atmosfera local, como son el  $\text{SO}_2$  de  $\text{NO}_2$ , y vapores de ácidos inorgánicos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) [27], especies químicas que no fueron cuantificadas en el muestreo realizado por la Consejería de Medio Ambiente anteriormente descrito, y cuya presencia en la atmosfera local de Aznalcollar es probable en momentos puntuales dependiendo de la aparición de una serie de condiciones climáticas favorables para la misma.

Debido a su génesis, la presencia de éstos compuestos en el aire se ve provocada por la acción de agentes meteorológicos que confieran al medio unas determinadas condiciones propicias para su aparición, por tanto se debe considerar la posibilidad de su presencia en la atmósfera con el transcurso del tiempo, y viniendo provocada por la interacción entre las capas de lodos aun presentes en el sustrato y éstos procesos climatológicos.

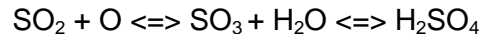
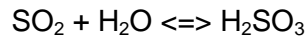
Ésta interacción puede provocar la presencia de óxidos de azufre en el ambiente que, reaccione con el vapor de agua atmosférico generando ácido sulfúrico que estará contenido en la masa de aire húmedo, pudiendo quedar suspendido en el aire y ser transportado a la población de Aznalcóllar.



Este proceso de acidificación del aire podría incluso originar, si se dan las condiciones necesarias y la cantidad suficiente de óxido de azufre, eventos aislados de lluvia ácida.

Éste proceso de acidificación del aire queda gobernado por las siguientes reacciones químicas

:



Según la agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR) tocar ácido sulfúrico producirá quemaduras en la piel, y respirar ácido sulfúrico puede producir erosión de los dientes e irritación de la vía respiratoria. Beber ácido sulfúrico puede quemar la boca, la garganta y el estómago y puede también causar la muerte. Si se derrama ácido sulfúrico en los ojos, esto lo hará lagrimear y causará ardor [26].

#### **4.2. AGUAS:**

Al analizar detenidamente la situación, se pone de manifiesto una controversia existente con respecto al estado actual de las aguas depositadas en la Corta de Aznalcollar que se expone brevemente a continuación.

En primer lugar, el Instituto Tecnológico de Geominero de España (ITGE) redacta en 1998 un informe positivo que otorga el calificativo de “apta” a la corta de Aznalcollar depósito de los fangos retirados, y como consecuencia se ejecuta tal actuación [1].

Posteriormente, la Unidad de Delincuencia Económica y Financiera (UDEF) redacta un informe sobre una inspección realizada a fecha de 9 de julio del 2015, en el que detalla la existencia de vertido tóxico de aguas altamente contaminadas al río Agrio, hecho que queda descartado por la Junta de Andalucía. [1]

La UDEF, además declara con las siguientes palabras que el sistema de tratamiento de aguas no funciona adecuadamente “también se observó que la depuradora encargada de limpiar el agua que viene del vertedero de los residuos de la antigua mina de Boliden, así como las aguas de escorrentía y lixiviado de todo el complejo minero se encuentra en estado de semiabandono. [...] todas las aguas que se recoge en esas balsas, se bombean o recirculan a la corta de Aznalcollar”.

A éste litigio se suman organizaciones ecologistas las cuales aseguran que el hecho implica un incremento del nivel de cota hídrica, rebasándose en 20 m de altura el límite inicialmente establecido a nivel del mar, que implicaría la contaminación directa del acuífero Niebla-Posadas considerado por el Plan

Hidrológico del Guadalquivir como estratégico para el abastecimiento humano, lo cual entienden, que pueda incurrir en delito en contra de la salud pública según el artículo 365 del código penal.

Por otro lado, la Junta de Andalucía argumenta que la actividad potabilizadora llevada a cabo actualmente es la adecuada, y que en su debido momento se acordó aumentar 20 m de cota tras analizar los informes del Instituto Geológico y Minero de España. [1], [4] y [5].

Si bien es cierto que la Junta de Andalucía cita argumentos que justifican su actuación, también lo es que las actuaciones se basan en una inspección realizada por un organismo competente y que la situación está en manos de los tribunales.

Ante tal situación y con la incertidumbre del estado real de las aguas de la corta de Aznalcollar que nos posibilite una toma de decisiones efectiva, éste documento no se centrará en la recuperación de ésta, sino de su entorno próximo.

Aunque ésta situación de controversia no permite una conclusión fiable del estado de las aguas de la corta y del acuífero Niebla-Posadas, es necesario considerar las posibilidades más perjudiciales del estado de las mismas, ya que al tratarse de un SCI puede influir en otros aspectos.

El vertido contaba con la presencia de contaminantes como Hg, Cd, Pb, Cu y Zn, los cuales constituyen los metales más peligrosos para el medio acuático, problema que se acentúa si consideramos los efectos nocivos que pueden tener para la salud humana si se llega a consumir directamente o incluso a través del consumo de vegetales cultivados en éstas áreas.

Entre dichos efectos cabe destacar:

- Alteraciones en los sistemas inmunitario y hematopoyético.
- Trastornos del tracto gastrointestinal (diarreas, náuseas, vómitos, dolores cólicos abdominales).
- Problemas en el aparato respiratorio (traqueítis, tos, disnea, insuficiencia respiratoria, neumonitis química).
- Afectación del sistema nervioso central (trastornos sensoriales, irritabilidad, amnesia, cefalea, ceguera, ataxia, parestesias).
- Trastornos renales y metabólicos.
- Inhibiciones de ciertas enzimas.
- Mutaciones en el ADN, teratogénesis.
- Esterilidad.

La existencia de casos similares al acaecido en Aznalcóllar nos sirve de comparación para prever futuros efectos nocivos a consecuencia del consumo de los recursos provenientes de éstas áreas, manifestándose la evidente necesidad de remediación de tal situación.

Un caso que nos puede servir de ejemplo es la situación provocada por la actividad minera en Gard (Francia) donde la explotación de las minas de pirita de Camoules generó contaminación en los ríos Reigous y Amous por Pb, Zn y Cd. La situación fue analizada por Faucherre y cols. en 1985, estudiando las consecuencias de la contaminación y obteniendo como conclusión del análisis la que se había producido una reducción, casi a la mitad, de la tasa de nacimientos en la población que había consumido productos vegetales de las zonas contaminadas[6].

#### **4.3 SUELOS:**

Las actuaciones de remediación realizadas, ya citadas en el apartado anterior no abarcaron la totalidad del terreno contaminado.

Para la caracterización de éstas zonas se realizan a fecha del 2014 análisis de sustrato diferenciando áreas de suelo contaminado, de suelo remediado y de suelo no contaminado para establecer una comparativa con las otras dos categorías.

En general, éstas prácticas de remediación fueron eficientes en la reducción de las cantidades totales de As, Zn, Pb, metales solubles y de As y Zn biodisponible, ya que no presentaron diferencias con el contenido de estos elementos en el suelo no contaminado.

Para la remediación se emplearon dos tipos de enmiendas:

- Enmiendas orgánicas, con las que se consiguió reducir las concentraciones totales de cobre, zinc, y arsénico. Así como el plomo en soluble y el zinc y plomo biodisponibles.
- Mientras que con las enmiendas con las inorgánicas (CaCO<sub>3</sub>, Fe y Mn) se redujeron las cantidades totales de cobre , zinc y arsénico, metales solubles, y cobre, zinc y arsénico biodisponibles. No obstante la espuma azucarera (CaCO<sub>3</sub>) no disminuyó las concentraciones de Cobre y Zinc solubles hasta los valores críticos de toxicidad.

Tras el análisis, en el suelo remediado sólo se encontró toxicidad sobre la bacteria entre 40 cm y 50 cm de profundidad debido, principalmente, al pH de la solución del suelo y a los contenidos de cobre y zinc solubles [9].

## 5. EL SISTEMA CLIMÁTICO INTEGRAL

Con una extensión total de 8.45 km<sup>2</sup> (845 ha) de área de influencia, el sistema climático integral está formado por 3 masas boscosas, a cada una de las cuales se les ha asignado unos objetivos específicos según sus características.



Debido a que uno de los principales objetivos del Sistema Climático Integral se centra en restablecer en la medida de lo posible el ecosistema existente con anterioridad al accidente, habrá, en primer lugar, que considerar el tipo de vegetación autóctona de la zona de influencia, realizándose una caracterización de la vegetación.

### 5.1. MODELOS DE GESTIÓN Y SERIES DE VEGETACIÓN

La junta de Andalucía divide el territorio en una serie de Modelos de gestión de la vegetación y series de vegetación según sea las características de ésta y las condiciones del sustrato. En el presente caso, una línea divisoria entre un modelo Araceno-Pacense (AR6-McQr) y otro Hispalense (HI3-SmQr) se sitúa justo en el borde inferior de la corta de Aznalcóllar, dividiendo el territorio en dos sectores, norte y sur respectivamente con las siguientes características [14]:

### 5.1.1. SECTOR NORTE O ARACENO-PACENSE (AR6-McQr):

Serie termomediterránea rifeña, luso-extremadureña y algarviense subhúmedo-húmeda y silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*): *Myrto communis*- *Querceto rotundifoliae* [13].

Se caracteriza una dinámica en la que la comunidad clímax es el encinar, que al degradarse da paso a otras etapas de comunidades con menor desarrollo. De esta manera es necesario un examen visual de la zona para determinar el estado de degradación actual de dicha comunidad.

Se desarrollan en sustratos compactos pobres en bases, como sedimentos pizarrosos, granitos o cuarcitas.

Se detallan a continuación las especies presentes en ésta comunidad, y que deberán estar presentes en la medida de lo posible si se quiere restablecer las condiciones autóctonas del lugar.

#### Especies características:

- *Quercus rotundifolia*
- *Myrtus communis*
- *Pistacia lentiscus*.
- *Chamaerops humilis*.
- *Rubia peregrina*.
- *Olea europea var. sylvestris*.
- *Smilax aspera*.
- *Arbutus unedo*.
- *Erica arborea*.
- *Daphne gnidium*.
- *Phillyrea angustifolia*.
- *Aristolochia baetica*.
- *Teucrium fruticans*.
- *Rhamnus alaternus*.
- *Asparagus aphyllus*.
- *Ruscus aculeatus*.
- *Lonicera implexa*.
- *Osyris alba*.
- *Asplenium onop-teris*.
- *Quercus coccifera*.

#### Especies acompañantes:

- *Quercus faginea subsp broteroi*.
- *Cytisus striatus*.
- *Erica australis subsp. australis*.
- *Ulex eriocladus*.
- *Adenocarpus telonensis*.
- *Lavandula stoechas subsp. sampaiana*.
- *Genista hirsuta*.
- *G. triacanthos*.
- *Clinopodium vulgare subsp. arundanum*.
- *Erica arborea*.

### 5.1.2. SECTOR SUR O HISPALENSE (HI3-SmQr):

Serie termomediterránea, bética, algarviense y mauritánica, seca-subhúmeda, basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*): *Smilaco mauritanicae*-*Querceto rotundifoliae* [13].

Constituye un encinar denso, rico en arbustos. Presencia de herbazal y de un estrato lianoide bien desarrollado. Como en el caso anterior, se hace necesaria la inspección de los terrenos para determinar el estado de

degradación que posee, identificando la etapa en la que se encuentre la comunidad.

Se asienta en terrenos calcáreos, calcáreo-dolomitoso o margoso.

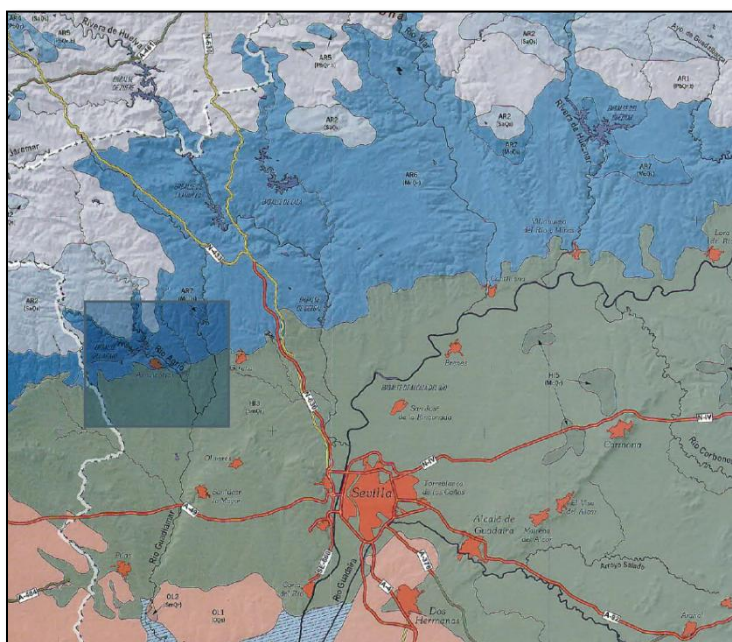
En líneas generales nos encontramos con encinares básicos en el sur y ácidos en el norte. Tal situación queda justificada por el hecho de que la presencia de humedad se hace algo más notable en la región Araceno-Pacense, produciendo el lixiviado del sustrato e incrementando por tanto el pH del mismo. La sequedad característica del sector hispalense no promueve la disolución de las sales del suelo, conservando el pH básico del sustrato.

Especies características:

- *Smilax aspera.*
- *Quercus rotundifolia.*
- *Quercus coccifera.*
- *Pistacia lentiscus.*
- *Chamaerops humilis.*
- *Olea sylvestris.*
- *Aristolochia baetica.*
- *Rubia peregrina.*
- *Ceratonia siliqua.*
- *Ruscus aculeatus*
- *Rhamnus alaternus.*
- *Lonicera implexa.*
- *Jasminum fruticans.*
- *Asparagus albus.*
- *Clematis flammula.*
- *Pistacia lentiscus.*
- *Rhamnus oleoides.*
- *Osyris alba.*

Especies acompañantes:

- *Calicotome villosa.*
- *Cistus albidus.*
- *Tamus communis.*
- *Cistusclusii.*
- *Bryonia dioica.*
- *Phlomis purpurea.*
- *Genista spartioides.*
- *Thymus baeticus.*



**Figura 1. Fuente:** Modelos de gestión de la vegetación y series de vegetación. Mapa 10. Sevilla. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.



**Figura 2. Fuente:** Modelos de gestión de la vegetación y series de vegetación. Mapa 10. Sevilla. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Una vez realizadas estas consideraciones se procede a describir las diferentes masas boscosas de que se compone el sistema climático integral.



## 5.2. BOSQUE LAGUNA:

Constituye una masa boscosa de 8 km<sup>2</sup>, u 800 Ha de extensión situada al norte de la corta de Aznalcóllar, cuyo límite occidental queda definido por el contra embalse del río Agrio y la carretera SE-530, mientras que la frontera oriental la dibuja el cauce del rio Fraile, alcanzando el extremo norte del Corredor Verde del Guadiamar. El perímetro del bosque laguna encierra al sur un área de unas 200 Ha anteriormente utilizada como escombrera.



Después de determinar el emplazamiento de la parcela en la que va a desarrollarse, se describen los objetivos perseguidos y se procede a la elección de la especie principal más idónea.

### 5.2.1. SELECCIÓN DE ESPECIES:

En el caso del Bosque Laguna, el núcleo de vegetación se creará con los dos objetivos globales mencionados anteriormente que se centran en:

- Contribuir en la captura de dióxido de carbono, y conseguir la adhesión al Programa Clima, con financiación del fondo de carbono y gestionado por el ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente



- Adecuar las condiciones del medio promoviendo unas condiciones idóneas para una futura zona de reintroducción del lince ibérico, generando con esto un paso seguro del felino en sus diversas rutas de dispersión poblacional, las cuales se intersecan en las cercanías a Aznalcóllar.

Se citan a continuación, por separado, los requerimientos ideales para la satisfacción de cada uno de los objetivos, para posteriormente, valorar y discutir, considerando el contexto y condiciones del entorno, objetivos y requerimientos cuales serán las decisiones más adecuadas para tomar.

### CARACTERÍSTICAS IDEALES DE LA VEGETACIÓN PARA LA CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

- Especies con alto índice de captura de CO<sub>2</sub>.
- Especies de rápido crecimiento.
- Como hemos comentado anteriormente, el consumo de vegetales obtenidos del bosque puede ser fuente de enfermedades, por tal motivo es esencial que las especies introducidas no presenten frutos, evitando actividades de recolección de éstos por parte de la población. Con ésta medida se consigue además no incrementar innecesariamente el deambulo de personas en áreas que soliciten una presencia antrópica reducida, como es la el Bosque Laguna, que constituirá un área de tránsito del lince ibérico.
- Margen relativamente amplio de tolerancia para pH ácidos, y pobres en nutrientes, dado a la existencia de un área anteriormente utilizada como escombrera, y para, en las demás áreas no tener que tratar el suelo en profundidad y ahorrar así costes, además de permitir el correcto desarrollo de la planta.
- La especie seleccionada ha de tener un margen de tolerancia amplio a las condiciones climáticas en el caso de no ser autóctona, ya que determinados factores ambientales provocarían situación de estrés en los individuos que conllevarán a una menor cantidad de CO<sub>2</sub> fijado del estipulado.

Previo a esta toma de decisión es de relevancia comentar las características de efectos del estrés ambiental sobre la fijación de CO<sub>2</sub>:

Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO<sub>2</sub> [35]. Estos factores ambientales, son variables clave que afectan al desarrollo de las plantas, dado que son esenciales en los procesos de

absorción y transporte de agua y nutrientes. Por lo tanto, el efecto de esos estreses pueden tener numerosas consecuencias para los cultivos, variando tanto desde respuestas fisiológicas a corto plazo en las plantas de forma individual, como cambios a largo plazo en la estructura y función de las plantas.

En numerosos estudios se ha mostrado que las plantas presentan frente a factores ambientales un amplio rango de respuestas que conducen normalmente a un déficit hídrico [36]. Dado el carácter fuertemente desecante de la atmósfera, el control de las pérdidas de agua ha sido siempre un aspecto clave para las plantas. Por una parte, el flujo de agua a través de una planta debe ser suficiente para mantener la nutrición y la incorporación de  $\text{CO}_2$ . Y por otra, como la asimilación y la transpiración están estrechamente ligadas en casi todas las plantas, la disponibilidad de agua impone un límite máximo a su productividad o desarrollo [37].

Al mismo tiempo, para evitar la desecación de las partes aéreas, el flujo de agua que entra en la planta por las raíces ha de compensar la salida de agua por las hojas. Dado que los procesos fisiológicos son extremadamente sensibles al déficit hídrico, la conservación del agua para mantener potenciales hídricos razonablemente altos suele ser el principal problema en las zonas con climas cálidos y escasez de precipitaciones. Con el aumento de las temperaturas puede inducirse un incremento de la fotorrespiración que es un mecanismo de protección del aparato fotosintético [15]. La acción combinada de los diferentes factores medioambientales, como el vapor de agua en la atmósfera y subida de las temperaturas, podría conducir a una mayor producción de biomasa, pero sólo si las plantas recibieran además un aporte de otros nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo o potasio (la acción antropogénica podría aportar nitrógeno a los ecosistemas naturales, ya que es un residuo de muchas de nuestras emisiones contaminantes).

Se estima que la fijación de  $\text{CO}_2$  se verá incrementada en los próximos 60 años debido al aumento en la temperatura. Se espera que la fijación de  $\text{CO}_2$  se incremente el 1% por cada  $^{\circ}\text{C}$  en regiones donde la temperatura media anual es de  $30^{\circ}\text{C}$  y el 10% en regiones donde la temperatura media anual es de  $10^{\circ}\text{C}$ . Las tasas fotosintéticas subirían un 25-75% en las plantas de fotosíntesis C3, más comunes en latitudes medias y altas, al duplicarse la concentración de  $\text{CO}_2$ . Los datos son menos concluyentes en el caso de las plantas cuya modalidad fotosintética es la C4, típica de lugares cálidos, siendo los intervalos de respuesta desde 0% hasta un 10-25% de incremento [29]. Esta problemática implica la necesidad de realizar estudios que permitan conocer el efecto de las diferentes condiciones ambientales sobre la capacidad de captación de  $\text{CO}_2$  y las necesidades hídricas y nutricionales de los cultivos.

## ESPECIES CADIDATAS:

### ▪ **Pino carrasco (*Pinus halepensis*):**

- Contiene acículas de pino, que puede usarse tras un proceso de tratamiento como fuente de fijación de metales pesados en las aguas de la corta [17]. En caso de no ser retiradas contribuyen a la acidificación del terreno.
- Densidad máxima que puede darse para su desarrollo 2.800 pies/ha [19].
- Absorción por ejemplar en 30 años: 0,082 t CO<sub>2</sub>
- Total absorbido por una hectárea de masa arbórea con la densidad poblacional mencionada en 30 años: 230,13 t CO<sub>2</sub>.

### ▪ **Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*):**

- Especie muy competitiva que contribuye a la acidificación del terreno y acumula recursos de las inmediaciones.
- Densidad óptima: 1.095 pies/ha
- Total absorbido por una hectárea de masa arbórea con la densidad poblacional mencionada en 30 años: 2.229,56 t CO<sub>2</sub>.
- Sus hojas pueden ser utilizadas para la fabricación artesanal de licores.

Además de éstas características, sería interesante que la plantación proporcione algún tipo de alternativa que pueda desembocar en la realización de actividades complementarias que contribuyan a satisfacer el objetivo de una participación ciudadana controlada, incrementando así el atractivo del SCI. Éstas serán detalladas en el apartado referente al Bosque Recreativo, junto a la explicación del resto de actividades propuestas.

Por otro lado, y como se ha comentado anteriormente, hay que considerar el segundo objetivo planteado: facilitar el tránsito al lince ibérico.

Para ello se caracteriza a continuación el paisaje y la vegetación idónea.

## CARACTERÍSTICAS IDEALES DE LA VEGETACIÓN PARA EL LINCE IBÉRICO:

El lince ibérico está adaptado a un ecosistema de tipo mediterráneo, por lo cual la masa boscosa debe reunir las características típicas de éste paisaje, con la obligatoria existencia de matorral mediterráneo, ya que se busca el establecimiento de futuros núcleos población en la zona.

Una masa boscosa no autóctona de rápido crecimiento como se solicita para el objetivo de captura de CO<sub>2</sub> es tolerante únicamente con el paso del lince, si no se busca el establecimiento de un núcleo poblacional debido a que conllevaría una zona de sombra en el suelo cuyas características dificultaría en gran medida el desarrollo del estrato arbustivo, limitando el área únicamente a la posibilidad de un tránsito eventual del felino.

Una vez sopesadas las características solicitadas por ambos objetivos se procederá a la elección de las especies principales que poblarán el Bosque Laguna, así como las complementarias si las hubiera:

La especie que mejor se ajusta al objetivo de captura de CO<sub>2</sub> es el eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*), ya que, además de absorber unas 10 veces más CO<sub>2</sub> que el pino carrasco (*Pinus halepensis*), obteniendo unas cifras mucho más atractivas para obtener la subvención del Programa Clima, comparte con él las demás características que las hacen especies candidatas, como tolerancia a ambientes ácidos y a suelos pobres.

Sin embargo, hay que considerar que las plantaciones de eucalipto plantean una gran disyuntiva en el sentido de que son una especie muy competitiva que provoca una amplia escasez de recursos y la incapacidad de la proliferación de vegetación autóctona en el eucaliptal. A pesar de ello el alto interés que las plantaciones de eucalipto despierta en la industria papelera, por la pasta celulósica que se obtiene del mismo para obtener papel de cocina, pañuelos, etc y en la industria maderera por el bajo coste y utilidad de su madera en construcción está conduciendo a la tala a gran escala de superficie poblada por vegetación autóctona en pos de plantaciones de eucaliptales con el objetivo de satisfacer la demanda de éstas industrias.

Ante ésta situación, surge la controversia de la utilización de eucaliptal aunque el motivo no atiende a razones industriales, siendo en su lugar la tan ansiada reducción de CO<sub>2</sub> necesaria en los tiempos que corren. Es por ésta razón que se decide llevar a cabo las plantaciones de eucaliptal únicamente en las zonas en las cuales no exista presencia de vegetación autóctona (no hay que realizar tareas de tala alguna). Ausencia que, atendiendo a la especial situación del entorno de Aznalcollar, se deben a la existencia de sustratos no aptos para la aparición de la misma.

De cualquier forma, se advertirá de antemano que los fines del eucaliptal del Bosque Laguna están única y exclusivamente orientados en la absorción de CO<sub>2</sub>.

La plantación de eucalipto habilitará el desarrollo de la producción y venta de un agradable licor, de sencilla elaboración, el llamado “Eucalittino”, con una graduación de 38º, obtenido de la maceración de hojas de eucalipto, lo cual reportará beneficios al SCI.

Mientras tanto, la vegetación preferiblemente solicitada para el paso del lince ibérico es la que comprende al bosque mediterráneo. Como hemos desarrollado anteriormente éste tiene variantes según el sector en el que nos situemos. En éste caso el araceno-pacense, el cual presenta como comunidad característica un encinares que integren las siguientes especies:

#### Especies características:

- *Quercus rotundifolia*
- *Myrtus communis*
- *Pistacia lentiscus*.
- *Chamaerops humilis*.
- *Rubia peregrina*.
- *Olea europea var. sylvestris*.
- *Smilax aspera*.
- *Arbutus unedo*.
- *Erica arbórea*.
- *Daphne gnidium*.
- *Phillyrea angustifolia*.
- *Aristolochia baetica*.
- *Teucrium fruticans*.
- *Rhamnus alaternus*.
- *Asparagus aphyllus*.
- *Ruscus aculeatus*.
- *Lonicera implexa*.
- *Osyris alba*.
- *Asplenium onop-teris*.
- *Quercus coccifera*.

#### Especies acompañantes:

- *Quercus faginea subsp broteroi*.
- *Cytisus striatus*.
- *Erica australis subsp. australis*.
- *Ulex eriocladus*.
- *Adenocarpus telonensis*.
- *Lavandula stoechas subsp. sampaiana*.
- *Genista hirsuta*.
- *G. triacanthos*.
- *Clinopodium vulgare subsp. arundanum*.
- *Erica arborea*.

#### **5.2.2. DISPOSICIÓN DE PLANTACIONES:**

No es posible diseñar un área extensa que comparta ambos objetivos con el máximo de efectividad para ambos. En vista de la dificultosa situación para integrar ambos objetivos se determina dividir la unidad boscosa en dos parcelas, que ocupen la zona norte y la zona sur del bosque laguna.

- **Zona norte del Bosque Laguna:**

la zona norte del bosque laguna comprende una extensión de unos 0.8 km<sup>2</sup> (800 Ha) donde existe ya una zona amplia con presencia de vegetación mediterránea. Por lo tanto se conservará la zona norte del bosque laguna para el tránsito del lince, llevándose a cabo las siembras únicamente en las zonas despobladas.

Con esta disposición se facilitará la comunicación entre las poblaciones de lince ibérico, asegurando un hábitat idóneo para el mismo en las cercanías del corredor del Guadiana, ruta principal seguida por el felino en su paso hacia Sierra Morena.

Para ello no solo se llevaran a cabo siembras en zonas puntuales, sino que se hará hincapié en la presencia de poblaciones de conejo de monte llevando a cabo distintas medidas como son convenios de colaboración con asociaciones cinegéticas, reintroduciendo ejemplares en determinados puntos para el incremento de la población de éstos.

- **Zona sur del Bosque Laguna:**

La zona sur en cambio, se centrará en la captura de CO<sub>2</sub>, y contará con la superficie restante perteneciente al Bosque Laguna, que únicamente ocupa la superficie de la antigua escombrera (en torno a unos 0.2 km<sup>2</sup> o 200 Hectáreas).



De la superficie total de la escombrera, se estima que sólo sea factible la plantación de eucalipto en un 20% de su extensión, reduciéndose ésta a unas 40 Ha, las cuales se estima que serán capaces de capturar a los largo de 30 años unas 89.182,49 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Ésta disposición facilitará que la presencia del lince se dé preferiblemente en la zona norte más alejada a la actividad antrópica del SCI, y con mayor atractivo para el felino.

En vista de los efectos adversos que tiene el *Eucalyptus globulus* para la vegetación autóctona y su acentuada competitividad será necesario establecer una franja imaginaria de transición entre ambas en la que prestar especial atención a realizar en operaciones de control, eliminación de nuevos ejemplares de *Eucalyptus globulus* que puedan aparecer.

La distribución de las especies vegetales se realiza con carácter provisional, ya que no se disponen de datos de pH demasiado precisos o de afección del terreno, sino estimaciones aproximadas, siendo por tanto, muy recomendable una campaña de toma de muestras de terreno y análisis de las características del mismo, estando ésta disposición sujeta a variaciones cuya necesidad quede de manifiesto tras el análisis de los resultados obtenidos.

### **5.2.3. SIEMBRA:**

Aunque la realización de tareas obtuvo consecuencias positivas, como hemos señalado anteriormente, existen suelos aún contaminados en el área de influencia del presente trabajo en las que el crecimiento de especies vegetales es inexistente, y es por tanto objeto de actuaciones de remediación.

Debido a ésta situación del terreno y con la intención de no desarrollar medidas de remediación demasiado costosas, se propone una siembra por puntos, en la que serán objeto de remediación únicamente las zonas que lo requieran.

Para las zonas en las que se requiera reducción de la acidez, y con vistas a no generar costes excesivos se plantea la siembra a través de trasplante de plántulas, con una adición en el agujero realizado de molienda de bivalvos de hábitat salobre, como el mejillón, de alto contenido en sales.

En cuanto a la plantación de eucaliptos se estudiará en cada zona si la adición de molienda es necesaria, ya que las condiciones óptimas para los eucaliptos pasan por pH ligeramente ácidos, y por tanto el tratamiento de reducción de acidez, en caso de ser necesario, será menor.

Por otro lado, en el Bosque Laguna, la densidad poblacional de las especies cobra especial importancia en la zona sur, debido a que se busca obtener la mayor cantidad de captura de CO<sub>2</sub> sembrando para ello el mayor número de ejemplares de *Eucalyptus globulus* como sea posible. Para ello, hay que tener en cuenta varias consideraciones como son el temperamento de la especie en cuestión, ya que una especie tolerante resistirá en mayor medida una competencia intraespecífica, siendo por tanto posible seleccionar unas plantaciones de alta densidad. Sin embargo una densidad de plantación demasiado alta podría ser contraproducente para el desarrollo de la masa boscosa y por tanto para alcanzar unos valores máximos de absorción de CO<sub>2</sub>,

por ello nos basamos en estudios ya elaborados para determinar la densidad óptima de plantación para el Eucalipto. Según un estudio realizado sobre el efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus*, la densidad óptima para el adecuado desarrollo de los ejemplares de una masa boscosa de *Eucalyptus globulus* es 1095 pies/hectárea, como se ha indicado anteriormente.

En cualquier caso, la experiencia nos dice que durante las operaciones de acondicionamiento y desbroce necesarias para la preparación del terreno podrán plantearse situaciones que determinen la necesidad de modificar las condiciones de densidad establecidas en un principio.

### 5.3. BOSQUE RECREATIVO:

El territorio cuya utilización está destinada exclusivamente a la satisfacción de los objetivos del bosque recreativo se emplaza en la zona sur de la Corta de Aznalcóllar, y cuenta con una extensión de 0.25 km<sup>2</sup> (25 Ha), en la que tendrán lugar numerosas actividades, algunas de las cuales se extenderán más allá de éstos límites, buscando una integración de los demás componentes del sistema.



Se procurara que las actividades realizadas aquí no sean excesivamente perjudiciales para las comunidades biológicas existentes, sino aprovechar la situación para que la población se integre y se vea inmiscuida en la regeneración a través de charlas formativas acompañadas de algunas actividades voluntarias que se describirán en los siguientes apartados, siempre supervisadas por profesionales.



Todo ello con la premisa de que cuanto más gente se sienta relacionada de manera estrecha con su entorno natural mayor será la acogida del proyecto, y mayores serán las posibilidades de hacer efectiva una buena recuperación y conservación del entorno.

Habrán diversas zonas destinadas a las distintas actividades según sea sus características. Gran número de estas actividades propuestas llevarán implícita una combinación de creación de empleo y actuaciones voluntarias y de formación, otras únicamente irán destinadas al ocio.

Considerando el “Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.”, “quienes realicen actividades de investigación y aprovechamiento reguladas por la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, los cuales quedan obligados a realizar, con sus medios, los trabajos de rehabilitación del espacio natural afectado tanto por las labores mineras como por sus servicios e instalaciones anejas, incluyéndose aquellas donde se hayan de depositar los residuos mineros.” [25], y teniendo en cuenta que se las actividades minera se han reactivado recientemente (siendo adjudicadas al consorcio México-Minorbis, formado por la compañía Grupo México y la empresa cordobesa Magtel), se establecerá un diálogo con la compañía minera ofertando a los dirigentes de ésta la posibilidad de llevar a cabo un lavado de imagen de la industria minera ante la población descontenta después del accidente del 98, y la sociedad en general, a cambio del apoyo a éste proyecto que tiene como principal objetivo la mitigación de los efectos adversos producidos por el desastre ocasionado por negligencia de la empresa minera.

El apoyo de dicha entidad se podría manifestar con las siguientes actuaciones:

- Facilitar la realización de ciertas actividades tutorizadas por el personal contratado expresamente para ellas y que requieran la utilización del terreno.
- Posibilidad de realizar puntuales charlas informativas por parte del personal de la mina, o en su defecto facilitarlas.

El Bosque recreativo adquiere éste nombre debido a las actividades de ocio y educación para el cual será habilitado, no obstante algunas de éstas se desarrollarán en parte en el área norte de la corta, perteneciente al ya descrito Bosque laguna. Por ésta razón se nombran a continuación ambas zonas para localizar las distintas actividades.

### 5.3.1. ÁREA SUR DE LA CORTA:

#### ACTIVIDADES PROPUESTAS:

- **Apicultura:**

Destinar un área a actividades de apicultura que contribuirá a la generación de empleo a través de la cría artificial de abejas. Se fomentará la venta de productos generados en la granja de abejas, tales como la miel o la cera, lo cual aportará beneficios económicos, además la posibilidad de generar empleo.

- **Producción de licor:**

Como se describió anteriormente, la plantación de eucalipto servirá además de para la fijación de CO<sub>2</sub>, para la fabricación del licor eucalittino, obtenido a través de la maceración de sus hojas. Se habilitará por ello unas instalaciones adecuadas para la elaboración de dicho licor en la zona sur de la corta. Debido a la naturaleza del SCI, llevado a cabo con vistas a una importante participación de la población

La plantación de eucalipto habilitará el desarrollo de la producción y venta de un agradable licor, de sencilla elaboración, el llamado “Eucalittino”, con una graduación de 38º, obtenido de la maceración de hojas de eucalipto, lo cual reportará beneficios al SCI.

- **Charlas y rutas formativas:**

Realización de charlas y rutas formativas guiadas para grupos de personas reducidos por determinadas zonas del complejo del SCI, basadas en distintas temáticas, y en las que se explique el desastre de las minas de Aznalcóllar desde un punto de vista negligencia accidental, con el objetivo de generar un ambiente de tolerancia entre las diferentes posturas, argumentando que con una explotación minera responsable, y tomando las medidas adecuadas es posible contribuir a un desarrollo sostenible eficaz.

Las distintas rutas formativas girarán en torno a diferentes temáticas:

- Ruta formativa 1: “MINERÍA”

Visita a las instalaciones mineras en la que se procederá a la explicación detallada del funcionamiento y ejecución de las actividades realizadas,

extracción, procesado, e información sobre los bienes y servicios para los que se utiliza.

- Ruta formativa 2: “EL SCI ENTORNO DE AZNALCOLLAR”

Información y justificación de la necesidad de realizar el presente Sistema Climático Integral, describiendo y visitando las distintas áreas, informando además de las actividades voluntarias en las que la población tiene posibilidad de participar.

- Ruta formativa 3: “AZNALCÓLLAR NATURAL”

Ruta encaminada a la información natural y biológica sobre los organismos presentes en el entorno, peculiaridades biológicas, curiosidades sobre rastreo de animales localizando huellas, paradas para avistamiento de mamíferos y aves presentes en el entorno, nombrando las condiciones naturales anteriores y posteriores al accidente haciendo con ello hincapié en la necesidad de llevar a cabo una actividad responsable para un desarrollo sostenible.

- Ruta formativa 4: “APICULTURA”

Ruta dirigida a dar a conocer el desempeño del trabajo de la apicultura visitando las instalaciones, informando además del papel fundamental de las abejas en el ecosistema. Se facilitará la compra de miel por parte del visitante tras la visita, generando ingresos.

- Ruta formativa 5: “ELABORACIÓN DE EUCALITTINO”

Consistirá en un paseo por la zona del eucaliptal para que los visitantes contribuyan a la recolección de hojas que serán maceradas y una posterior visita a las instalaciones para el conocimiento del proceso de fabricación del licor de eucalipto. Promocionándose tras la visita la venta del mismo.

- Charla formativa: “EL LINCE Y AZNALCÓLLAR”

Las acciones que faciliten el tránsito del lince ibérico no se limitarán a la siembra de bosque mediterráneo autóctono del Bosque laguna, sino que conllevará otras medidas como la información de la situación actual de aquel. Por ello se celebrarán sesiones formativas contribuyendo a uno de los objetivos que plantea el SCI.

Se contempla la posibilidad de convocar expertos y gente relacionada con éste mundo para contribuir a éstas charlas formativas, contactando con el Centro de Cría en Cautividad más cercano, denominado “El Acebuche” y emplazado en el término municipal de Almonte (Huelva), o con los directores del Programa Europa Life de conservación del lince ibérico.

Una vez se haya conseguido la reintroducción del lince ibérico, se podrá ampliar la actividad, para una baja frecuencia y número de participantes, a la realización de ruta de rastreo de evidencias de la presencia del felino y avistamiento, si fuese posible, del mismo.

### **5.3.2. ÁREA NORTE DE LA CORTA:**

En un principio, para el zona norte de la corta se planteó la disyuntiva de habilitarla como área recreativa abierta o únicamente realizar un vallado e impedir su acceso a la población, debido a que podría tener efectos negativos sobre uno de los puntos considerados en nuestro proyecto, la reintroducción del Lince Ibérico en la zona.

Finalmente se opta por establecer actividades supervisadas para un área constituida por una relativamente estrecha franja de terreno adyacente a la corta, cuyo principal requisito sea la calma. Con ésta medida se obtendría un mayor control de la zona por parte del personal del SCI y que esta zona permanezca exenta de presencia antrópica no supervisada, asegurando unas condiciones de quietud adecuadas para proteger el tránsito del lince ibérico.

### **ACTIVIDADES PROPUESTAS:**

- En primer lugar se propone la contribución a través de un voluntariado ambiental orientado a la población de Aznalcóllar destinado a realizar la plantación de *Eucalyptus globulus*, en la zona correspondiente a la antigua escombrera (como ya se ha realizado en otras escombreras producidas por la actividad minera). De ésta manera la población podrá contribuir también de manera activa a la naturalización del entorno.
- Zonas habilitadas para el avistamiento de aves.
- Zonas habilitadas para el avistamiento de mamíferos.
- Fabricación de madrigueras, o majanos artificiales para mejorar población de conejos llevadas a cabo, dada su relativamente baja complejidad, mediante actividades de ocio organizadas y supervisadas por el personal del SCI dirigidas a la población, como por ejemplo institutos de enseñanza secundaria, que serían compaginadas por charlas explicativas relativas a la situación actual del felino.

Para la realización de algunas de estas actividades es necesaria la construcción en las cercanías de la riberita norte de la corta una serie de cabañas con aberturas orientadas para la observación de la fauna, que cuente con una guía y supervisión de personal. Se facilita el avistamiento mediante la colocación de cajas-nido artificiales para la avifauna en lugares con visibilidad desde los puntos de observación y otros dispositivos como madrigueras artificiales naturalizadas para mamíferos.

Esta actividad se verá apoyada por talleres de fabricación de madrigueras artificiales y cajas-nido por parte de voluntarios jóvenes provenientes de la población de Aznalcóllar, promoviéndose su participación desde centros escolares. De esta manera, se consigue además contribuir al objetivo planteado de fomentar la participación ciudadana y ahorrar costes

### **5.3.3. SELECCIÓN DE ESPECIES**

En el caso de que los niveles de contaminación del agua de la corta no diesen valores tóxicos, condición que la Junta de Andalucía asegura, se podría proceder a la inserción en los márgenes de la corta de vegetación de ribera típica de las zonas húmedas mediterráneas que son regadas por ríos y otras masas de agua.

La vegetación de ribera, se caracteriza por una amplia diversidad de especies, presentes o no en función de la distancia a la masa de agua y la presencia de ésta (zonas cubiertas de agua, encharcadas o húmedas). En consecuencia, en primer lugar se hace necesaria una caracterización in-situ detallada del terreno, para conocer qué especies tendrían cabida en cada zona.

Vegetación en galería se puede presentar en diferentes formas. En nuestra zona, en el sur-oeste de la península, al tratarse de suelos ligeramente básicos globalmente hablando, suelen presentarse choperas, alamedas, saucedas o tarayeras:

- **Choperas y alamedas:**

Tienen como especie predominante el chopo o álamo, y prefieren suelos ligeramente básicos y con alto contenido en nutrientes.

- **Saucedas:**

La especie más característica de esta formación es el sauce, que tienen preferencia por suelos básicos, y rico en nutrientes.

- **Tarayeras:**

Con predominio de Taray o tamarix se dan en suelos ricos también en sales son las formaciones de galería más comunes en nuestra área debido al carácter básico predominante.

Sin embargo, si nos desplazamos por el territorio andaluz y la península encontramos otras formaciones de bosque de ribera debido a que el pH del sustrato es más bajo. Y, como hemos demostrado anteriormente, el accidente minero provocó el

descenso de pH en los suelos, lo cual nos abre la opción de tratar de introducir vegetación de ribera típica de otras áreas de Andalucía y la península con valores de pH más ácidos:

▪ **Alisedas:**

Con predominancia de alisos con requerimiento de un suelo ligeramente ácido 4.5 7.5 y más pobres en nutrientes, no presentes en suelos muy fertilizados. Se indican a continuación las especies vegetales acompañantes de los alisos en las alisedas, junto a su requerimiento de pH:

- Alisos (*Alnus glutinosa*).  
pH **4,5- 7,5**.
- Castaños (*Castanea sativa*)  
pH **3,5-5,5**
- Helechos(*Dryopteris affinis, dilatata*)  
pH 3,5-5,5
- Lechetrezna (*Euphorbia amigdaloides*)  
pH 4,5-7,5
- Hiedra (*Hedera hélix*) pH 4,5-7,5
- Sanalotodo(*Hypericum androsaemum*)  
pH 3,5-5,5
- Acebo (*Ilex aquifolium*). pH 4,5-7,5.
- Madreselva (*Lonicera periclymenum*).  
pH 3,5-5,5
- Acederilla (*Oxalis acetosella*).  
pH 3,5-5,5
- Sellosalomon (*Polygonatum multiflorum*)  
pH 4,5-7,5
- Roble(*Quercus robur*) pH 3,5-5,5
- Saúco (*Sambucus nigra*). pH 4,5-7,5
- Lengua de pájaro (*Stellaria holostea*)  
3,5- 5,5.
- Violeta (*Viola riviniana*). pH3,5-5,5

Observamos que el pH que debemos buscar para que proliferen todas éstas especies se sitúa entre **4,5-5,5**.

Se selecciona la Aliseda por tanto para la repoblación en ésta zona, ya que conforma una formación de bosque de ribera más acorde con las características del medio disponible, debido a su requerimiento de pH más ácidos y menor necesidad de nutrientes que las otras formaciones candidatas.

La introducción de alisedas nos facilitaría el tratamiento del suelo en que queremos desarrollar el bosque ya que la basicidad del terreno requerida por éstas no es tan alta ni los suelos tan ricos en nutrientes, sin renunciar relativamente con ello a la siembra de un tipo de vegetación autóctona, ya que su presencia se da de manera común en la península y en Andalucía.

#### **5.3.4. DISPOSICIÓN DE LAS ESPECIES:**

Se establece para el bosque recreativo dos áreas de distinta naturaleza que serán destinadas a diferentes tipos de siembra:

- **Ribera de la corta:**

Zona contigua a la masa de agua de la corta en su zona sur que será reservada para la existencia de un bosque de ribera mediterráneo.

- **Encinar recreativo:**

El espacio restante perteneciente al bosque recreativo se reservará a la repoblación de la vegetación autóctona, que, al igual que la zona de ribera de la corta, será compatible con las actividades anteriormente propuestas.

#### **MEDIDAS DE ACONDICIONAMIENTO:**

En cualquier caso es posible que sean necesarias medidas de remediación o de acondicionamiento para la siembra, con un previo análisis para el conocimiento real de las condiciones del medio.

En el caso de que el medio muestre condiciones que impidan el desarrollo de la vegetación de ribera, se proponen las siguientes medidas de remediación:

- Niveles de pH demasiado bajos: se propone una siembra con la misma dinámica a la del eucaliptal del bosque laguna, con la consiguiente adición de enmienda consistente en la molienda de restos de bivalvos, como mejillones, de ecosistemas salobres, los cuales incorporan mediante su metabolismo sales a su estructura. De ésta manera se puede utilizar un producto de desecho para incrementar el pH, sin la necesidad de una inversión importante.
- Los bosques en galería es un tipo de vegetación riparia o ribereña. Una de las características de éste tipo de formaciones boscosas es que son compatibles con la presencia de bancos de grava. Aprovechando ésta peculiaridad podríamos probar como medida de acondicionamiento adicional la adición de una capa de gravas, y restos materia orgánica que facilite la formación de una capa superficial humificada, que pueda servir de fuente de carbono y nutrientes a las especies vegetales.

#### **5.4. BOSQUE DE LA SALUD:**

Se realizará la plantación, de unos 0,2 km<sup>2</sup> (20 Ha) entre la Corta de Aznalcóllar y la población de ésta localidad, situada de manera que interrumpa el flujo de materia en suspensión y especies químicas sulfurosas hacia la población de Aznalcollar, reduciendo así la posibilidad de aparición de problemas de salud a causa de éstos contaminantes. Cumplirá por tanto la función de depuración del

aire antes de alcanzar las zonas habitadas del municipio, constituyendo una barrera contra  $\text{SO}_2$  de  $\text{NO}_2$ , y vapores de ácidos inorgánicos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



#### 5.4.1. SELECCIÓN DE ESPECIES:

##### CARACTERÍSTICAS IDEALES PARA LA BARRERA ARBÓREA

Características morfológicas del vegetal que incrementan la eficiencia en la captura de partículas de polvo y gases contaminantes en suspensión:

- Especie perennifolia que permita el efecto de barrera todos los meses de año.
- Se busca generar la barrera natural lo antes posible, para ello se necesitan especies con un rápido crecimiento.
- Dado que se lucha contra materia en suspensión en el aire el porte de la planta juega un papel fundamental en el desarrollo de la barrera. Obteniendo una mayor efectividad con la altura.
- Resistente a ambientes ácidos, debido al carácter ácido de las partículas cuyo flujo se busca frenar, además de los bajos valores de pH encontrados en la zona de plantación.



## ESPECIE SELECCIONADA:

### ▪ Eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*):

- Especie perenne de rápido crecimiento y tolerancia a ambientes ligeramente ácidos y de gran porte, pudiendo llegar en España a los 70 m de altura y 2 m de diámetro.



**Fuente:** periódico de crecimiento personal(sede electrónica).

- Además de cumplir con los requisitos anteriormente expuestos, y en vista de las especiales condiciones del entorno es de gran ayuda el hecho de que sea una especie ya utilizada en el SCI, lo cual nos aportará experiencia a la hora de la siembra y de los problemas puntuales que pudiera acarrear.
- Por otro lado, con la utilización de ésta especie se contribuirá a que el objetivo global del SCI basado en la captura de CO<sub>2</sub> se cumpla con mayor efectividad, ya que ésta especie será utilizada también en la zona sur del bosque laguna para éste fin, aportando además una mayor cantidad de materia prima utilizada para la fabricación de licor de eucalipto.
- El emplazamiento aislado de ésta plantación, junto a la no existencia de vegetación autóctona en dicha zona, además de la poca extensión que ocupa, reduce la polémica anteriormente analizada proveniente de la siembra de *Eucalyptus globulus*.

A priori, en el caso del bosque de la salud se requiere plantaciones densas de eucalipto, para incrementar la superficie de contacto de los árboles con las masas de aire contenedoras de los elementos nocivos. Sin embargo, según el estudio mencionado anteriormente sobre el efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus*, al incrementar la densidad de la plantación disminuye el crecimiento de los ejemplares en diámetro y, en menor medida, altura. Por esta razón se continuará sembrando con la densidad establecida por el estudio como óptima para el crecimiento individual y del rodal, de 1095 plantas por hectárea.

Se procederá a la siembra de las 20 Ha de *Eucalyptus globulus*, para el desarrollo del Bosque de la Salud, extensión equivalente a la plantación del Bosque Laguna. Por tanto, si cuantificamos la absorción de CO<sub>2</sub> producida por este bosque, aunque ésta no fuese su finalidad, obtenemos la cifra de 89182.49 t CO<sub>2</sub>, en 30 años, consiguiendo un total neto de absorción de para el Sistema Climático Integral de 178.364,98 t CO<sub>2</sub> en los 30 años.

## **6. CONCLUSIONES:**

- La importancia de las condiciones y valores medioambientales del entorno a las minas de Aznalcóllar se ve incrementada en gran medida por el lugar estratégico que en que se sitúa con respecto a los planes de conservación del Lince ibérico, constituyendo el área de cruce entre las rutas de dispersión y entre zonas con presencia del felino que necesitan de una interconexión segura para conseguir una futura estabilidad poblacional. En vista del deterioro de los recursos medioambientales ocasionados por la actividad minera y la importancia de la existencia de los mismos, según el “Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.”, “quienes realicen actividades de investigación y aprovechamiento reguladas por la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, los cuales quedan obligados a realizar, con sus medios, los trabajos de rehabilitación del espacio natural afectado tanto por las labores mineras como por sus servicios e instalaciones anejas, incluyéndose aquellas donde se hayan de depositar los residuos mineros.” [25], se espera colaboración que facilite las actuaciones requeridas por el SCI por parte de la empresa minera, la cual conseguirá también un lavado de imagen de la industria minera con respecto a la población.
- El hecho de la existente controversia encontrada a la hora de recopilar datos para la toma de decisiones puede dificultar el cumplimiento de alguna de ellas, ya que podría darse el caso de encontrar en el terreno condiciones diferentes a las consideradas.

- Se puede entender, en definitiva, el SCI Aznalcollar como un paquete de medidas de remediación sobre el entorno dañado por el accidente, que no se centra exclusivamente en la acción directa en suelos o aguas, sino que, además de esto, involucra otros aspectos ambientales de gran importancia para que tal recuperación, además de que se produzca, persevere en el tiempo.

## ANEXO I

### METODO EX ANTE PARA LA CUANTIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub>



## **METODO EX ANTE PARA LA CUANTIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub>:**

Para la cuantificación de las absorciones de CO<sub>2</sub> llevadas a cabo en el presente documento se ha seguido el método EX ANTE, tal y como dicta el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, cuyas pautas se exponen a continuación a través de un fragmento de la “Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono”:

### **CÁLCULO EX ANTE.**

#### **1. Características del cálculo EX ANTE**

Se ha considerado necesario facilitar una estimación de las absorciones que puede llegar a generar un proyecto, de manera que el promotor conozca con antelación, y de forma aproximada, cuántas absorciones podrá ceder para compensación. Tal y como se indica más adelante, este dato también será utilizado para determinar la cantidad de absorciones de dióxido de carbono futuras que un proyecto podrá ceder para compensación.

Como se verá más adelante se distinguen dos casos en base a la gestión de la masa forestal realizada, siendo la base metodológica del cálculo la misma. A modo resumen, se puede indicar que el cálculo se basa en la determinación de las absorciones de dióxido de carbono por ejemplar plantado, para posteriormente aplicar este dato a todo el proyecto, en función del número de ejemplares que se espere haya al final del periodo de permanencia o bien, al final del turno en caso de que éste sea de una duración inferior a dicho periodo.

La complejidad en la determinación de la metodología se debe a la gran heterogeneidad en cuanto al detalle de la información disponible actualmente. Se ha detectado que existe abundante información sobre el crecimiento de algunas especies forestales españolas, mientras que para otras la información es muy escasa. También son diversas las fuentes de información, variando en cuanto al nivel de detalle o datos de partida.

Todas estas circunstancias, junto con la necesidad de facilitar una metodología de cálculo sencilla, homogénea, basada en datos oficiales y válida para todas las especies forestales de España y todas sus regiones, ha llevado a la utilización del método y fuentes de información que se expone en el siguiente apartado.

#### **1.2 Metodología de cálculo. Base científica**

Se considera la siguiente fórmula de las Orientación sobre Buenas Prácticas en el Sector Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura de 2003 del IPCC (en adelante, GPG-LULUCF 2003), como punto de partida para el cálculo de las absorciones de dióxido de carbono.

$$\Delta C = \Delta C_{BV}$$

Como se explicará posteriormente, para los cálculos se tendrá en cuenta únicamente la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva ( $\Delta C_{BV}$ ), incluyendo biomasa sobre el suelo y bajo el suelo. Ésta será función del crecimiento y de las pérdidas, es decir:

$$\Delta C = \Delta C_{BV} \Delta C_{CRECIMIENTO} + \Delta C_{PÉRDIDAS}$$

Donde:

$\Delta C_{CRECIMIENTO}$ : aumento de las reservas de carbono en la biomasa viva sobre el suelo y bajo el suelo por efecto del crecimiento, en t C.

$\Delta C_{PÉRDIDAS}$ : disminución de las reservas de carbono en la biomasa viva por efecto de las pérdidas derivadas de la recolección, de la recogida de leña y de las perturbaciones, en t C (signo negativo).

Las pérdidas quedarán incluidas en la fórmula de forma implícita ya que los cálculos se hacen en función del número de pies que previsiblemente permanecerán transcurrido un número determinado de años.

Así, la fórmula que expresa la variación de las reservas de carbono por pie, y que será la fórmula utilizada para realizar los cálculos ex ante, queda de la siguiente manera:

$$\Delta C_{pie} = \Delta C_{BV} = \Delta C_{CRECIMIENTO} = \sum [Vn_{CC} \cdot FC \cdot FEB \cdot D \cdot (1 + R)]$$

Donde:

$n$ : nº de años (edad del ejemplar)

$Vn_{CC}$ : volumen maderable con corteza según especie para el año  $n$  en  $m^3$

$FC$ : fracción de carbono de la materia seca, en t C / t m.s

$FEB$ : factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto anual (incluida la corteza) en incremento de biomasa arbórea sobre el suelo, sin dimensiones.

$D$ : densidad madera básica, en t m.s. /  $m^3$

$R$ : relación raíz-vástago, sin dimensiones.

A continuación se indican las fuentes de información a las que se ha recurrido para obtener los valores según especies de los parámetros de la fórmula anterior:

⇒ **El producto  $FEB \cdot D$**  Se obtiene, para cada especie, a partir de los datos incluidos en el Informe de Inventarios de GEI de España 1990-2012 (2014). En el Informe, este producto se obtiene de los cálculos realizados por el CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales) para cada especie, valores que han sido validados intencionalmente a través de Accion Cost E21, por referirse específicamente a especies forestales en territorio español, siendo así más ajustados a la realidad nacional que los factores por defecto del IPCC y por considerarse conservadores. Los valores de los  $DFEB$  que no han sido calculados por el CREAM, se obtienen por medio de comparación con especies similares, o se le asigna el valor por defecto 0,8 (1,6-0,5), de acuerdo con la publicación IPCC-1996.

⇒ El valor de la **fracción de carbono de la materia seca (FC)** es el que se toma por defecto en el IPCC, 0,5 t C / t m.s.

⇒ Los valores del **factor de expansión de las raíces (R)**, se obtienen a partir de los datos aportados en el siguiente artículo: R.-Ruiz Peinado, G. Montero, M. del Río, Modelos para estimar las reservas de carbono en la biomasa de especies de coníferas y de frondosas en España, 2014.

Para las especies no incluidas en el estudio, se han hecho asimilaciones entre especies consideradas como similares en cuanto a esta variable

El caso del **volumen maderable con corteza** ( $V_{ncc}$ ) merece un tratamiento especial debido a la complejidad de su determinación.

Como se ha comentado, el objetivo es obtener el valor del volumen esperado de un ejemplar al final del periodo de permanencia del proyecto o bien, al final del turno en caso de que éste sea de una duración inferior a dicho periodo. Sin embargo, debido a la cantidad de variables que influyen en el crecimiento de un ejemplar de una misma especie (tipo de suelo, clima, exposición, etc.), ha sido difícil encontrar ecuaciones que relacionasen el crecimiento en volumen o en diámetro, con el tiempo y, en algunos casos, ha sido necesario asimilar el crecimiento de unas especies al de otras.

A continuación se indican las fuentes de información a las que se ha recurrido para obtener los valores según especies de los parámetros de la fórmula anterior:

- Por un lado, se han encontrado dos fuentes en las que se relaciona directamente el volumen con el tiempo:
  - Madrigal Collazo, J.G. Alvarez Gonzáles, R. Rodríguez Soalleriro, A. Rojo Alboreca. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, Tablas de producción para los montes españoles, 1999.
  - Tabla 7 de las publicaciones “Las Coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional” y “Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional”, 1979.



- Para las especies no incluidas en las tablas de producción de la mencionada publicación, ni en la tabla 7 del IFN1, se ha obtenido la relación tiempo – diámetro para posteriormente calcular el volumen. Las fuentes son las siguientes:
  - Anexo 2 (Ajustes parabólicos D-t) de las publicaciones “Las Coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional” y “Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional”, 1979.
  - Tabla 201 del Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007).

En el Anexo 2 del IFN1 se presentan curvas parabólicas que relacionan el diámetro con la edad de los ejemplares según diferentes especies. Por otro lado, la tabla 201 del IFN3, relaciona el diámetro con el volumen según especies para las distintas provincias en las que se encuentran dichas especies. Así, para las especies en las que no se puede obtener directamente el volumen en función del tiempo, se ha recurrido a estas otras dos fuentes.

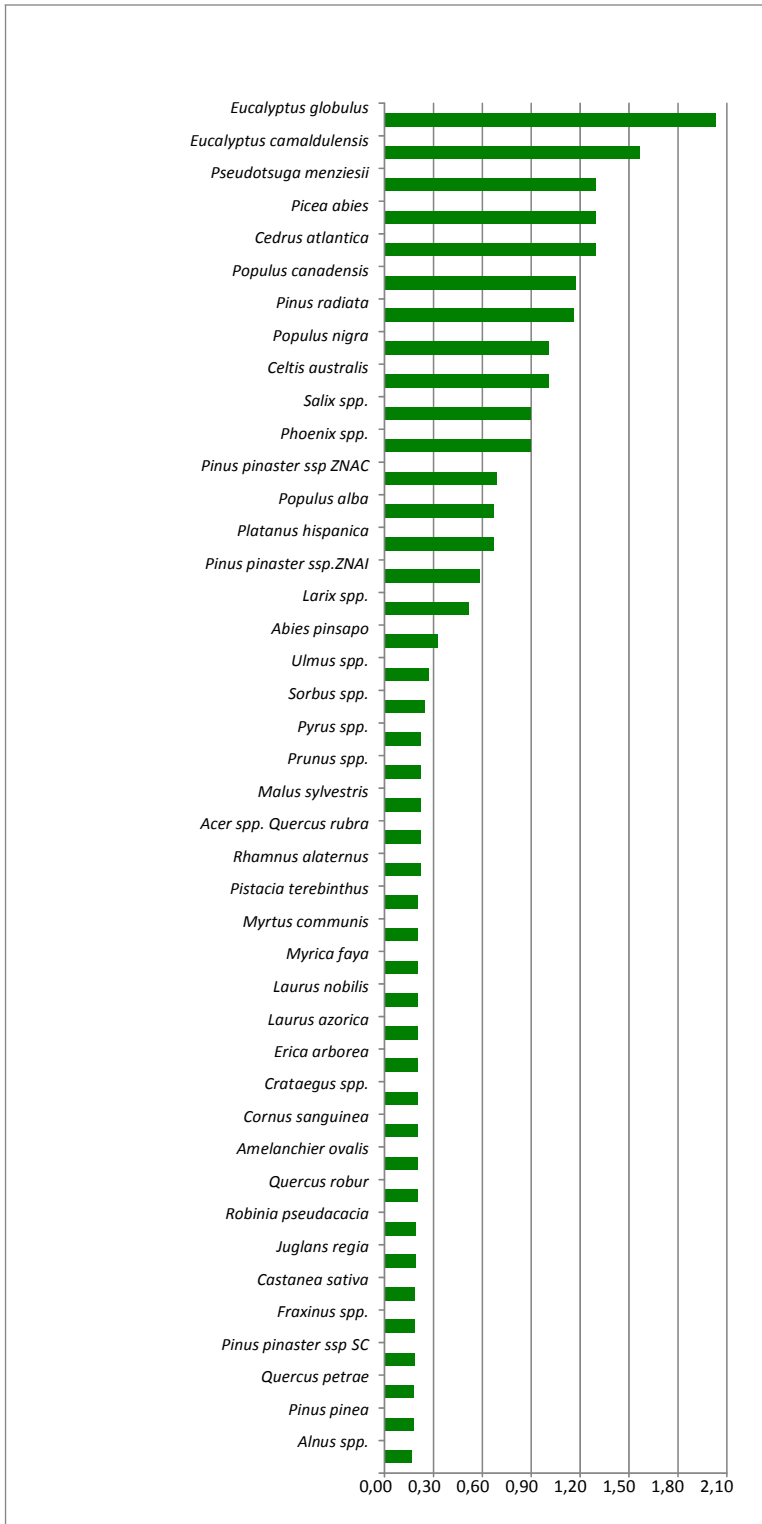
- Para las especies *Quercus ilex*, *Quercus suber* y *Larix spp.*, se ha obtenido la relación diámetro – tiempo a través de la información incluida en el Informe de emisiones de gases de efecto invernadero en España 1990-2012. La relación diámetro - volumen, se ha extraído de la Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3.

A continuación se expone un gráfico en el que se aprecian las absorciones unitarias que se estima, fijen las distintas especies transcurridos 30 años.

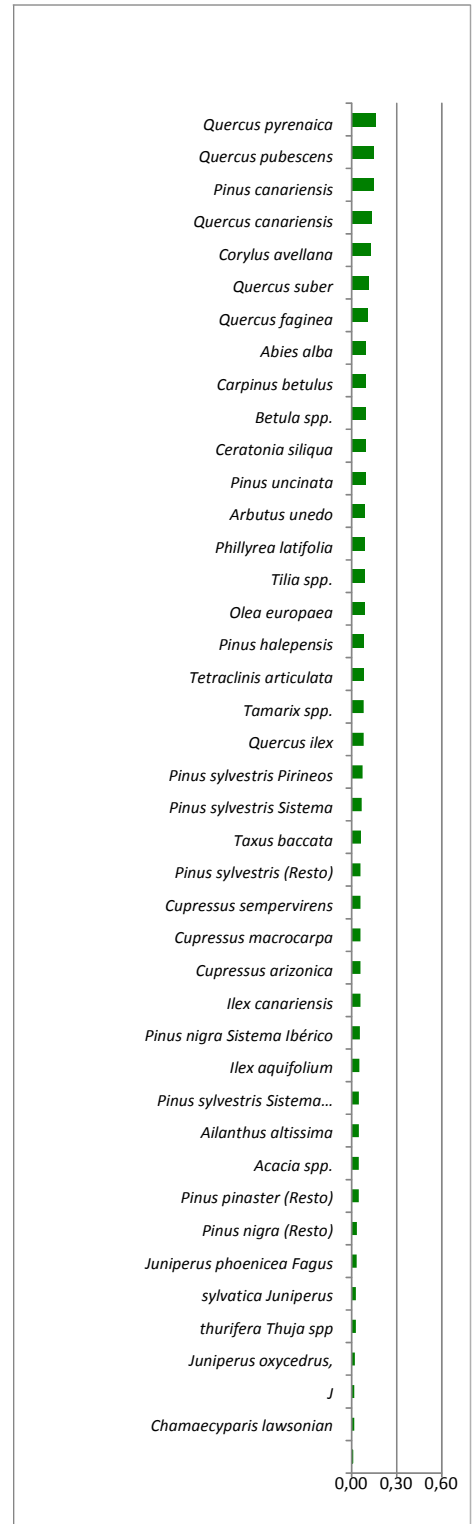
Así mismo, en el Anexo se incluyen los valores de absorciones unitarias calculadas para cada especie y para las edades 20, 25, 30, 35 y 40 años así como las fuentes de donde se han obtenido. Cabe destacar que se ha considerado un crecimiento lineal diferente para cada rango de edad (menos de 30 años, entre 30 y 40 años y más de 40 años).

**Absorciones unitarias estimadas a los 30 años según especies:**

**Absorciones estimadas a los 30 años (t CO<sub>2</sub>/pie)**



**Absorciones estimadas a los 30 años (t CO<sub>2</sub>/pie)**



### 1.3 Cálculo de las absorciones del proyecto. Tipos de gestión:

Aplicando la metodología expuesta en el apartado anterior obtendríamos las absorciones que se espera, alcance un ejemplar de una especie concreta para un periodo determinado. A nivel de proyecto, en caso de que al finalizar este periodo la masa forestal permanezca, las absorciones se calcularán multiplicando los datos unitarios según especie, por el número de pies que se prevé que existan al final de dicho periodo.

Sin embargo, en función de cuál sea el objetivo de la repoblación, en ocasiones el periodo de permanencia del proyecto será superior al turno de corta previsto. Si este fuera el caso, sólo podrá considerarse que estas repoblaciones producen absorciones si la masa se repone una vez cortada. Aun así, como veremos a continuación, las absorciones que se estima que se produzcan en estos casos, serán inferiores a las que se producirían en caso de que la masa no se cortase.

De esta manera, se distinguen dos metodologías de cálculo en función del tipo de gestión llevada a cabo.

- ⇒ El fin de la repoblación no es productivo o bien, el turno de corta previsto sea superior al periodo de permanencia.
- ⇒ Repoblaciones de aprovechamiento intensivo cuyo turno de corta es inferior al periodo de permanencia.

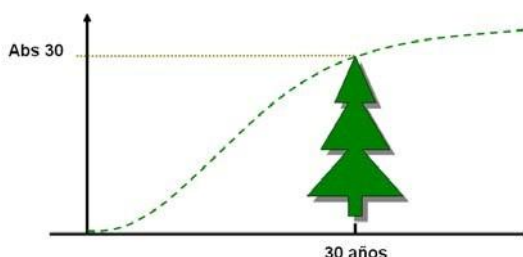
Seguidamente se expone detalladamente el procedimiento de cálculo seguido en cada uno de estos dos casos:

#### **Sin aprovechamiento maderero o aprovechamiento no intensivo**

En este caso, se aplicará la fórmula expuesta anteriormente introduciendo el número de pies de cada especie que se espera, exista al final del periodo de permanencia.

Aunque durante los años transcurridos hasta alcanzar el periodo de permanencia puedan producirse pérdidas de biomasa (extracciones de madera por claras, clareos, etc.) que supondrían las correspondientes pérdidas de CO<sub>2</sub> absorbido, éstas vienen implícitas en la fórmula ya que, el número de pies de cada especie que hay que introducir en la misma es el que se prevé que exista al final del periodo de permanencia teniendo en cuenta las posibles pérdidas que se produzcan por marras, mortalidad natural, trabajos selvícolas, etc.

Gráficamente, las absorciones logradas a lo largo del tiempo, seguirían el patrón que se muestra en la figura, que se asemejan a las curvas sigmoideas que definen el crecimiento en volumen de los árboles a lo largo del tiempo:



Cabe recordar que, a efectos de la inscripción en este Registro, el periodo mínimo de permanencia que se exige (acreditarlo mediante la documentación pertinente) deberá ser de 30 años. Por otra parte, si bien es cierto que no existe un máximo en el periodo de permanencia permitido, no podrán realizarse transacciones de absorciones a futuro (ex ante) calculadas para un periodo superior a 50 años debido al grado de incertidumbre asociada a espacios de tiempo tan prolongados.

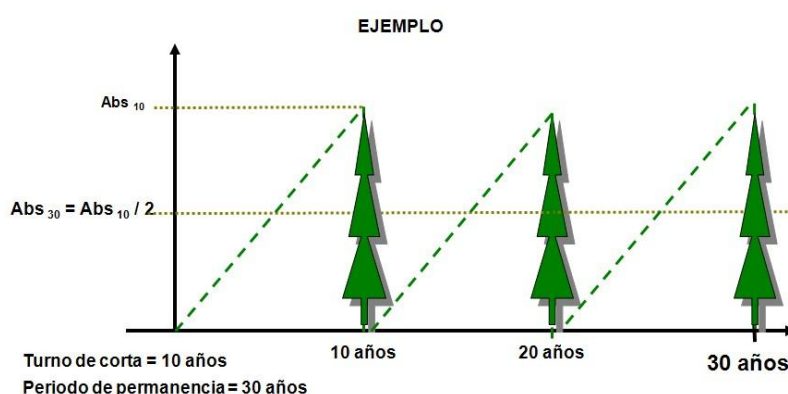
### Aprovechamiento intensivo. Cortas a hecho

Si se trata de masas sometidas a una gestión intensiva en la que se realizan cortas a hecho al alcanzarse el turno de corta, el CO<sub>2</sub> absorbido por los ejemplares será máximo en el instante previo a la corta y pasará a ser nulo una vez se haya realizado (oxidación instantánea en el Protocolo de Kioto I).

Sin embargo, si la masa se repone tras la corta, se considera que, transcurrido el periodo que comprende el turno de corta, volverán a alcanzarse las mismas cotas de absorción. Siempre que el plan de gestión asegure que la masa será repuesta tras la corta, los ciclos de absorciones seguirán el patrón descrito. Así, se estima que las absorciones ex ante alcanzadas por un proyecto en el que se producen cortas a hecho con un turno determinado (y de duración inferior al periodo de permanencia), serán el resultado de la media de las absorciones producidas durante el mencionado turno.

Gráficamente, las absorciones logradas a los largo del tiempo, seguirían un patrón Absorciones – tiempo en forma de dientes de sierra como el que se muestra en la figura cuyos máximos de absorción se producen al final de cada turno y los mínimos a su inicio.

En el ejemplo se observa que, para un turno de corta de 10 años y un periodo de permanencia de 30 años, el stock de las absorciones disponibles al final del periodo de permanencia serían las correspondientes al stock medio. Este valor se asimila a la mitad del stock acumulado antes de la corta (stock de absorciones a los 5 años considerando un aumento lineal de las absorciones con el tiempo hasta la finalización del turno).



abe señalar que las gráficas expuestas se han incluido con el fin de facilitar la comprensión y no representan modelos precisos de crecimiento.

#### 1.4 Datos de la repoblación

De lo expuesto anteriormente, se deduce que para determinar las absorciones generadas por un proyecto será necesario conocer el resultado de la fórmula de variación de las reservas de carbono en un pie expuesta anteriormente, el tipo de gestión llevada a cabo y el número de pies que se estima, existirán al final del periodo considerado. En concreto, necesitaremos conocer:

- **Las Especies** que se han utilizado para llevar a cabo la repoblación.
- **La región biogeográfica donde se encuentra el proyecto**, ya que en algunos casos se cuenta con datos diferenciados de crecimiento de las especies según regiones.
- **El periodo de cálculo.** Será necesario conocer el periodo para el que se desea calcular las absorciones. Como se ha comentado, para el caso de repoblaciones no intensivas, este periodo coincidirá con periodo de permanencia del proyecto y, si se trata de cortas a hecho, será necesario conocer el turno de corta.

Finalmente será necesario conocer con el **número de pies** de cada especie que se prevé, existirán transcurridos esos años.

#### 1.5 Otras consideraciones

Según GPG-LULUCF 2003, la fórmula de partida para el cálculo de absorciones de CO<sub>2</sub> obtenidas por un proyecto forestal, es la siguiente:

$$\text{Remociones netas antropogénicas (CO}_2\text{)} = \text{CO}_2 \text{ proyecto} - \text{CO}_2 \text{ línea base} - \text{CO}_2 \text{ fugas}$$

En el caso de los proyectos de absorción de dióxido de carbono de la sección b) del Registro, se ha decidido considerar tanto las emisiones de la línea base y las fugas como nulas.

Así, se tiene que las remociones netas de CO<sub>2</sub> se corresponderán con el CO<sub>2</sub> absorbido por el proyecto:

$$\text{Remociones netas antropogénicas (CO}_2\text{)} = \text{CO}_2 \text{ proyecto}$$

Por otro lado, la variación de las reservas de carbono obtenidas por un proyecto según GPG- LULUCF 2003, se obtiene teniendo en cuenta los siguientes depósitos:

$$\Delta C = \Delta C_{BV} + \Delta C_{MOM} + \Delta C_{Suelos}$$

**Donde:**  $\Delta C$  : variación anual de las reservas de carbono en tierras convertidas en bosques, en t C/año.

$\Delta C_{BV}$  : variación anual de las reservas de carbono en la biomasa viva (incluye biomasa sobre el suelo y bajo el suelo), en tierras convertidas en bosques, en t C/año.

$\Delta C_{MOM}$  : variación anual de las reservas de carbono en la materia orgánica muerta (incluye madera muerta y detritus), en tierras convertidas en bosques, en t C/año.

Sin embargo, tal y como se comentaba anteriormente, para los cálculos se tendrá en cuenta únicamente la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva ( $\Delta C_{BV}$ ), resultado del balance de crecimientos y pérdidas de biomasa viva sobre y bajo el suelo, es decir:

$$\Delta C = \Delta C_{BV} = \Delta C_{CRECIMIENTO} + \Delta C_{PÉRDIDAS}$$

Por último, la conversión de las toneladas de carbono (t C) a toneladas de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>), se realiza a través de la relación del peso molecular del CO<sub>2</sub> y el peso del átomo de C:

$$\Delta CO_2 = \Delta C \times \frac{44}{12}$$

## 9. REFERENCIAS:

- [1]. Coopers y Lybrand, (1998). Junta de Andalucía. Informe de la descripción del accidente de Aznalcóllar y opinión sobre las actuaciones y medidas adoptadas para paliar sus efectos.
- [2]. Ministerio de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente. 2011. Directrices para la presentación de propuestas de proyectos clima bajo el enfoque programático.
- [3]. C. Antón-pacheco, J.C. Gumiel, E.de Miguel, J. A. Gómez, O. Gutiérrez, J.G. Rejas, J.Arránz J. E., López, D. Baretino y Giménez, M. 1999. Cartografía del vertido de lodos de la mina de Aznalcóllar mediante imágenes daedalus atm.. Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas 23. 20003 Madrid. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Crtra de Ajalvir, k.4. 28850 Torrejón de Ardoz. (Madrid).
- [4]. Martín Arroyo, Javier; Mora, Antonio J. 17 julio 2015. La policía denuncia un vertido de agua contaminante en Aznalcóllar. Diario El País. Sevilla.
- [5]. Rivera, Agustín; 19 julio 2015. Aznalcóllar sigue contaminada: la UDEF certifica “vertidos directos” de la mina. Diario El Confidencial.
- [6]. E. Moreno Millán, F. Valdés Morillo. 2002. Intervenciones de emergencia en salud pública tras el vertido toxico por el accidente minero de Aznalcollar (Sevilla) DELEGACIÓN PROVINCIAL DE LA CONSEJERÍA DE SALUD. DELEGACIÓN DEL GOBIERNO DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA. SEVILLA.
- [7]. Arenas, J. M.<sup>a</sup>, Carrero, G., Galache, J., Mediavilla, C., Silgado, A. y Vázquez, E. M. 2001. Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar. Boletín Geológico y Minero.
- [8]. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Sede electrónica), Ministerio de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente. Marzo 2014. La CHG inicia los trabajos para la mejora del saneamiento en Aznalcóllar (Sevilla).
- [9]. Sarria Carabalí, Margarita María; Cortés Páez, Luis Enrique; Peinado, Francisco José Martín. Evaluación de la recuperación de suelos contaminados por el vertido de Aznalcóllar. Acta Agronómica, vol. 64, núm. 2, abril-junio, 2015, pp. 156-164. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- [10]. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (Sede electrónica). Provincia de Sevilla. Aznalcóllar.
- [11]. Pdf: 3. Curso Sistema Climático Integral. Máster Ingeniería del Agua Posible. 2014. Universidad de Sevilla.
- [12]. G.Sevillano, Elena. Noviembre 2013. Diario El País. España, entre los países que más pagan por cumplir Kioto. Madrid.
- [13]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Modelos de restauracion forestal.
- [14]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Modelos de restauracion forestal. Series de vegetacion climatofilas y edafoxerofilas.

- [15]. Sofo A., Dichio B., Xiloyannis C., Masia A. (2005): Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes.
- [16]. Yanes, Javier. Diario El País. Marzo 2015. Aznalcóllar aún tiene suelos contaminados donde no crece “ni una mala hierba”
- [17]. D. Javier Sánchez Pina. 2014. universidad de murcia. departamento de ingeniería química eliminación de Metales Pesados de Efluentes Líquidos por Adsorción en Materiales Naturales Residuales de Bajo Coste (Acículas de Pino).
- [18] Serrada, R. 2000. Apuntes de Repoblaciones Forestales. FUCOVASA. Madrid.
- [19]. Cabanillas Saldaña, A; Barrio Ante, M; Rojo Alboreca, A; Notivol Paíno, E. Septiembre 2009. Diagrama manejo de densidad para masas naturales de pino carrasco (*Pinus halepensis mill.*) en la depresión del Ebro. Ávila.
- [20]. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono.
- [21]. P. Ferrere; G. A. López; R. T. Boca; M. A. Galetti; C. A. Esparrach; P. S. Pathauer. 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado.
- [22]. Rodríguez, A. (2004). Lince ibérico - *Lynx pardinus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Carrascal, L. M., Salvador, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- [23]. Dirección General de Gestión de Medio Natural. Junta de Andalucía. Censo de población del lince ibérico 2010.
- [24]. Proyecto Life+IBERLINCE Recuperación de la distribución histórica del Lince ibérico (*Lynx pardinus*) en España y Portugal. (Sede electrónica).
- [25]. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO-A-2009-9841. 13 Junio 2009. Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
- [26]. División de Toxicología ToxFAQs™. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Junio 1999. Anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico (Sulfur Trioxide and Sulfuric Acid).
- [27]. Grupo Tar - Universidad de Sevilla. Informe preliminar del estudio medioambiental medioambiental en Nerva.
- [28]. Solomona, Susan; Plattner, Gian-Kasper; Knutti, Reto; Friedlingstein, Pierre. 2007. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions.
- [29]. Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA), (sede electrónica). 2005.
- [30]. Brady, N.C. and R.R. Weil. 2004 . Elements of the Nature and Properties of Soils. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.



- [31]. Aguilar, J.; Dorronsoro, C.; Fernández, E.; Fernández, J.; García, I.; Martín, F.; y Simón, M. 2004. Soil pollution by a pyrite mine spill in Spain: evolution in time. *Environ. Poll.*
- [32]. Gil, F.; Capitán-Vallvey, L. F.; De Santiago, E.; Ballesta, J.; Pla, A.; et al. 2006. Heavy metal concentrations in the general population of Andalusia, South of Spain. A comparison with the population within the area of influence of Aznalcóllar mine spill (SW Spain).
- [33] Beltran; Delibes. 1993 Características del lince ibérico.
- [34]. W. E. Johnson, J. A. Godoy, F. Palomares, M. Delibes, M. Fernandes, E. Revilla, S. J. O'Brien. 2004. Phylogenetic and Phylogeographic Analysis of Iberian Lynx Populations.
- [35]. Martínez-Ballesta, MC, López Pérez, L; Muries, B; Muñoz-Azcarate, O; Carvajal, M; 2009. Climate change and plant water balance. The role of aquaporins.
- [36]. Kimball, B.A., Kobayashi, K. and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy*.
- [37]. Steudle E, Peterson CA.1998. How does water get through roots. *Journal of Experimental Botany*.