



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

*Diseño de una estación de compostaje
para la fracción orgánica de los RSU
producidos en la localidad de Orihuela*

MEMORIA PRESENTADA POR:

MARÍA REYES VIGUERAS PEREA

TUTOR:

VICENT FOMBUENA BORRÁS

GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



RESUMEN

“Diseño de una estación de compostaje para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos producidos en la localidad de Orihuela”

El objetivo de este proyecto es el estudio de la implantación de una estación de compostaje que trate los RSU procedentes de la ciudad de Orihuela con el fin de dar una segunda oportunidad a estos residuos, valorizándolos como compost que puede servir como sustrato para aplicaciones en la industria agrícola, dotando a las plantas de muchos nutrientes, evitando de este modo que estos residuos acaben en el vertedero y al mismo tiempo evitando el uso de fertilizantes químicos.

En el presente trabajo se ha realizado un estudio para hallar el mínimo área necesaria para hacer frente a casi 55 toneladas diarias, con ello se ha estimado que el dimensionamiento (quincenalmente) será de 3 pilas de 116,28 metros de largo cada una, con una altura de 2,3 metros y anchura de 4,5 metros, esto son un poco más de 13.000 m² para cubrir la demanda todo el año.

Como todo proyecto requiere, también se ha realizado un estudio económico en el que se han obtenido datos como una inversión inicial de 5.302.573,30 €. El resultado de este estudio es un proyecto viable económicamente ya que a los 4 años se obtendrán beneficios y a los 8 años se habrá cubierto completamente la inversión inicial realizada.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

SUMMARY

“Design of a composting station for the organic fraction of urban solid waste produced in the town of Orihuela”

The objective of this project is to study the implementation of a composting station that treats MSW from the city of Orihuela to give this waste a second chance, valuing it as compost that can serve as a substrate for applications in the agricultural industry, providing the plants with many nutrients, thus avoiding that these residues end up in the landfill and at the same time avoiding the use of chemical fertilizers.

In the present work a study has been carried out to find the minimum area necessary to face almost 55 tons per day, with this it has been estimated that the dimensioning (fortnightly) will be 3 piles of 116.28 meters long each, with a height of 2.3 meters and width of 4.5 meters, this is a little more than 13,000 m² to cover the demand throughout the year.

As every project requires, an economic study has also been carried out in which data has been obtained such as an initial investment of € 5.302.573,30. The result of this study is an economically viable project since benefits will be obtained after 4 years and at 8 years the initial investment made will have been fully covered.



RESUM

“Disseny d'una estació de compostatge per a la fracció orgànica dels residus sòlids urbans produïts en la localitat d'Oriola”

L'objectiu d'aquest projecte és l'estudi de la implantació d'una estació de compostatge que tracte els RSU procedents de la ciutat d'Oriola amb la finalitat de donar una segona oportunitat a aquests residus, valorant-los com a compostos que pot servir com a substrat per a aplicacions en la indústria agrícola, dotant a les plantes de molts nutrients, evitant d'aquesta manera que aquests residus acaben en l'abocador i al mateix temps evitant l'ús de fertilitzants químics.

En el present treball s'ha realitzat un estudi per a trobar el mínim àrea necessària per a fer front a quasi 55 tones diàries, amb això s'ha estimat que el dimensionament (quinzenalment) serà de 3 piles de 116,28 metres de llarg cadascuna, amb una altura de 2,3 metres i amplària de 4,5 metres, això són una mica més de 13.000 m² per a cobrir la demanda tot l'any.

Com tot projecte requereix, també s'ha realitzat un estudi econòmic en el qual s'han obtingut dades com una inversió inicial de 5.302.573,30 €. El resultat d'aquest estudi és un projecte viable econòmicament ja que als 4 anys s'obtindran beneficis i als 8 anys s'haurà cobert completament la inversió inicial realitzada.



Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	4
RESUM.....	5
LISTADO DE FIGURAS	10
LISTADO DE TABLAS.....	13
I. INTRODUCCIÓN	14
I.1. ANTECEDENTES.....	15
I.2. RESIDUOS.....	16
I.2.1. Tipos de residuos	16
I.2.2. Tratamiento de residuos	17
I.3. SITUACIÓN ACTUAL.....	20
I.4. ¿QUÉ SE PUEDE COMPOSTAR?	24
I.4.1. Residuos que se pueden compostar	24
I.4.2. Residuos que no se pueden compostar	25
I.4.3. Pautas a tener en cuenta para la correcta elaboración del compostaje.....	26
I.5. COMPOSTAJE.....	26
I.5.1. Concepto	26
I.5.2. Proceso: etapas	27
I.5.2.1. Etapa mesófila	27
I.5.2.2. Etapa termófila	27
I.5.2.3. Etapa de enfriamiento	28
I.5.2.4. Etapa de maduración.....	28
I.5.3. Parámetros a controlar	29



1.5.3.1. <i>Parámetros de seguimiento</i>	29
1.5.3.2. <i>Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato</i>	34
1.5.4. Producto final o "compost"	35
1.5.5. ¿Por qué compostaje?	36
1.5.5.1. <i>Ventajas económicas</i>	36
1.5.5.2. <i>Ventajas ecológicas</i>	36

II. OBJETIVOS38

II.1. OBJETIVO GENERAL.....	39
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	39

III. DESARROLLO PROYECTO40

III.1. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.	41
III.2. ADECUACIÓN DEL TERRENO.....	43
III.3. DIAGRAMA DEL PROCESO.....	46
III.4. UNIDAD DE SEPARACIÓN.....	48
III.5. TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS.	50
III.6. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA A TRATAR.....	52
III.7. SISTEMAS DE AIREACIÓN.....	53
III.8. CÁLCULOS.	55
III.8.1. Volumen de residuos.....	55
III.8.2. Almacenamiento de residuos.....	56
III.8.3. Dimensionado de las pilas de compostaje.....	58
III.9. RECOGIDA DE LIXIVIADOS.	64
III.10. CONTROL GRANULOMÉTRICO.....	66



III.11. VENTA Y DISTRIBUCIÓN.....	68
-----------------------------------	----

IV. ESTUDIO ECONÓMICO 70

IV.1. Materiales.....	71
-----------------------	----

IV.1.1. Plástico.....	71
-----------------------	----

IV.1.2. Canaleta lixiviados.....	72
----------------------------------	----

IV.2. Adecuación del terreno.....	72
-----------------------------------	----

IV.2.1. Terreno.....	72
----------------------	----

IV.2.2. Cercado.....	73
----------------------	----

IV.2.3. Apertura de caminos	74
-----------------------------------	----

IV.2.4. Nivelado	74
------------------------	----

IV.2.5. Pavimentado.....	75
--------------------------	----

IV.2.6. Nave industrial.....	75
------------------------------	----

IV.2.7. Balsa	75
---------------------	----

IV.3. Maquinaria.	76
------------------------	----

IV.3.1. Volteadora.....	76
-------------------------	----

IV.3.2. Criba tambor y cribadora.....	76
---------------------------------------	----

IV.3.3. Cargadora.....	77
------------------------	----

IV.3.4. Conveyor	77
------------------------	----

IV.3.5. Grúa transporte	78
-------------------------------	----

IV.3.6. Bomba	79
---------------------	----

IV.3.7. Báscula.....	79
----------------------	----

IV.3.8. Equipos de análisis	81
-----------------------------------	----

IV.3.9. Ensacadora	82
--------------------------	----

IV.3.10. Transpaleta manual	82
-----------------------------------	----

IV.4. Gastos.....	84
-------------------	----



IV.4.1. Electricidad	84
IV.4.2. Personal	85
IV.4.3. Combustible	86
IV.4.3.1. Volteadora	86
IV.4.3.2. Pala cargadora	86
IV.5. Cálculos económicos.....	87
IV.5.1. Cálculo del VAN	87
IV.5.2. Cálculo de la TIR.....	90
V. CONCLUSIONES	91
V.1. CONCLUSIONES.....	92
VI. APÉNDICES	95
VI.1. REFERENCIAS.....	96



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento anual de la población en España.	15
Figura 2. Jerarquía de prioridades en la gestión de residuos.	18
Figura 3. Ejemplo proceso reutilización.....	19
Figura 4. Distribución de la generación de residuos a nivel mundial.....	20
Figura 5. Tratamiento final de residuos en distintos países.	21
Figura 6. Residuos en España en 2019.	21
Figura 7. Origen residuos de España.	22
Figura 8. Origen de cada tonelada de basura.	22
Figura 9. Tratamiento final de residuos en España.....	23
Figura 10. Etapas compostaje.	29
Figura 11. Termómetro de alcohol.....	30
Figura 12. Control temperatura en pilas de compostaje.....	31
Figura 13. Termómetro termopar.	31
Figura 14. Medición de la humedad.....	32
Figura 15. Medición pH.....	33
Figura 16. Medidor CE.	35
Figura 17. Mapa Vega Baja.	41
Figura 18. Mapa ampliado.	42
Figura 19. Impermeabilización del terreno.	43
Figura 20. Canaleta para recoger lixiviados.....	44
Figura 21. Fosos de recepción.....	44



Figura 22. Nave industrial.	45
Figura 23. Diagrama del proceso.	47
Figura 24. Separación manual.	48
Figura 25. Criba tambor.	49
Figura 26. Grúa de transporte.	50
Figura 27. Transporte de los residuos.	50
Figura 28. Máquina cargadora ruedas Doosan DL250-5.	51
Figura 29. Tuberías aireación.	53
Figura 30. Máquina volteadora.	54
Figura 31. Pirámide de almacenamiento.	57
Figura 32. Volumen por metro lineal.	59
Figura 33. Disposición del terreno.	63
Figura 34. Balsa para lixiviados.	64
Figura 35. Bomba para lixiviados.	65
Figura 36. Cribadora.	66
Figura 37. Ensacadora.	68
Figura 38. Transpaleta manual.	69
Figura 39. Plástico impermeable.	71
Figura 40. Canaleta lixiviados.	72
Figura 41. Medidas terreno.	73
Figura 42. Cercado.	74
Figura 43. Conveyor.	78
Figura 44. Grúa transporte.	79
Figura 45. Báscula camión.	80



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Figura 46. Control del pesaje en el conveyor.	80
Figura 47. Instalación de los rodillos en el conveyor.	81
Figura 48. pHmetro.	81



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Datos residuos Orihuela.....	24
Tabla 2. Símbolos internacionales.....	46
Tabla 3. Características criba tambor.....	49
Tabla 4. Características pala cargadora.....	51
Tabla 5. Densidades.....	55
Tabla 6. Datos comunes para el dimensionado.....	58
Tabla 7. Cálculos.....	61
Tabla 8. Cálculos con sobredimensionado.....	62
Tabla 9. Características cribadora.....	67
Tabla 10. Nivelado.....	75
Tabla 11. Parámetros técnicos conveyor.....	77
Tabla 12. Características grúa transporte.....	78
Tabla 13. Precio equipos análisis.....	82
Tabla 14. Características ensacadora.....	82
Tabla 15. Características transpaleta manual.....	83
Tabla 16. Gastos de electricidad.....	84
Tabla 17. Resumen salario anual del personal.....	85
Tabla 18. Coste anual personal.....	86
Tabla 19. Inversión inicial.....	89
Tabla 20. Cálculo VAN.....	89



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. ANTECEDENTES.

Los residuos sólidos urbanos, en el pasado han sido sinónimo de desperdicio, es decir, deja de tener utilidad y valor y, por lo tanto, nos desprendemos de ello. Conforme ha ido evolucionando la humanidad, este concepto ha ido modificándose hasta llegar actualmente a tornarse en una fuente potencial de recursos.

Los residuos urbanos continúan siendo una problemática ambiental que viene dada por la producción y el consumo. En las últimas décadas la generación de residuos se ha disparado, esto es debido al avance tecnológico e industrial. La sociedad también es un factor determinante ya que no consumimos ni desecharnos las mismas cantidades que antes, nos hemos vuelto más consumidores y la sociedad, las industrias o las nuevas tecnologías... nos han aportado mucha comodidad en nuestro día a día.

Además, la población española aumentó en, aproximadamente, 400.000 personas durante el 2019.

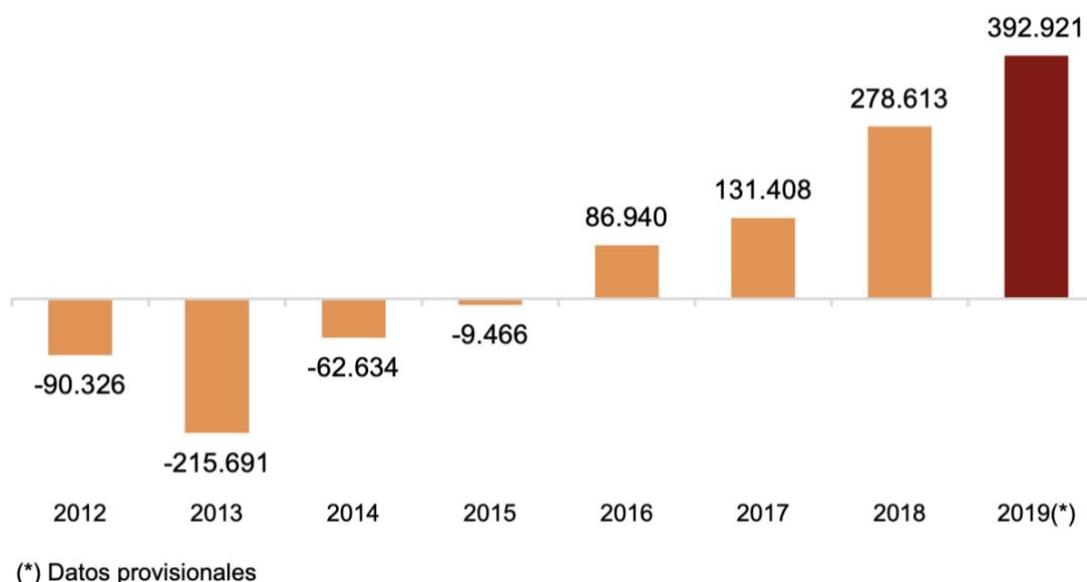


Figura 1. Crecimiento anual de la población en España.

Por lo que si cada vez somos más y cada vez generamos más residuos debemos tomar medidas para solucionar esta grave problemática. La generación de residuos es

I. Introducción

incontrolable, pero se está intentando regular impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos ambientales y sobre la salud humana. El 28 de Julio de 2011 se aprobó la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados que trata de regular dicho problema ambiental y sanitario.

I.2. RESIDUOS.

Un residuo es un material no deseado que se desecha una vez haya acabado su tiempo de vida, se trata de algo inservible que se convierte en basura y que carece de valor económico.

I.2.1. Tipos de residuos

Los residuos pueden clasificarse según su origen o procedencia:

- Industriales.

Son aquellos que se generan debido a la actividad industrial, a su vez de clasifican en:

- ◆ Residuos industriales inertes.
- ◆ Residuos industriales asimilables a urbanos.
- ◆ Residuos industriales especiales.

- Agrícolas y ganaderos.

Proviene de las actividades agrarias y se dividen según la actividad de la que provienen:

- ◆ Residuos agrícolas.
- ◆ Residuos forestales.
- ◆ Residuos ganaderos.

- Sanitarios.

I. Introducción

Corresponden a los residuos generados por cualquier actividad sanitaria, incluidos los de origen veterinario. Estos residuos pueden contener agentes patógenos y causar enfermedades. Su clasificación es la siguiente:

- ◆ Residuos industriales asimilables a urbanos.
 - ◆ Biosanitarios sin peligrosidad.
 - ◆ Biosanitarios especiales (patológicos, contagiosos y/o infecciosos).
 - ◆ Residuos químicos.
 - ◆ Especiales radiactivos.
 - ◆ Especiales restos anatómicos.
- Residuos urbanos.

Son los generados en domicilios, en los núcleos urbanos.

- ◆ Residuos domiciliarios.
 - ◆ Residuos comerciales y de servicios.
 - ◆ Residuos producidos por la limpieza de las calles, zonas verdes, playas, áreas recreativas, animales muertos.
 - ◆ Residuos y escombros procedentes de obras de construcción menores, reparación domiciliaria.
- Residuos de construcción y demolición.

Residuos procedentes de las actividades relacionadas con la construcción y demolición de edificaciones e infraestructuras.

I.2.2. Tratamiento de residuos

El tratamiento de residuos engloba todas las actividades necesarias para hacerse cargo de un residuo sólido urbano. Comienza con la recolección del mismo, su transporte hasta las instalaciones donde se va a tratar y finalmente su tratamiento, que puede ser la eliminación o el aprovechamiento.

I. Introducción

Los residuos provocan un fuerte impacto ambiental, contaminan en el medio acuático, terrestre y aéreo. Para evitar que el medioambiente se vaya deteriorando debemos gestionar los residuos de manera ecológica y eficiente.

La Directiva 2008/98/CE del parlamento europeo y del consejo sobre residuos establece la siguiente jerarquía de prioridades en la gestión de los residuos.

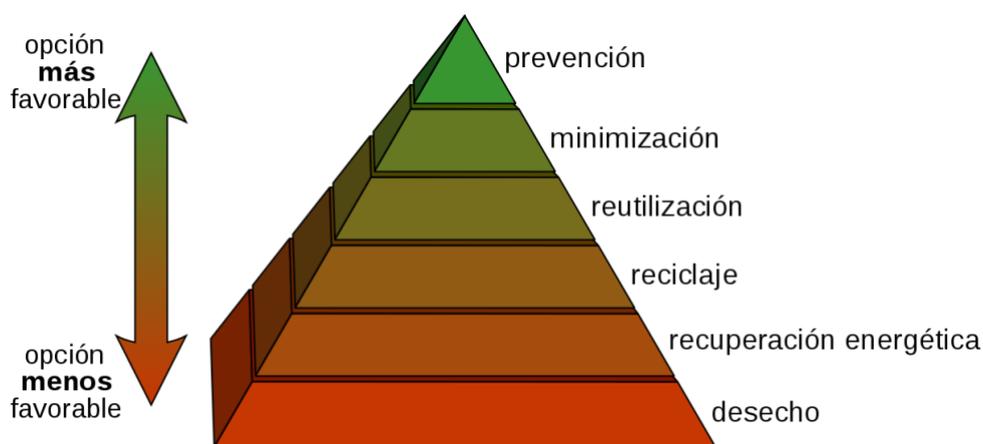


Figura 2. Jerarquía de prioridades en la gestión de residuos.

Esta jerarquía nos da una visión de las diferentes etapas de gestión por las que puede pasar un residuo, indicando cuales son mas favorables desde el punto de vista que se obtenga el máximo beneficio de los productos y se genere la mínima cantidad de residuos. Una correcta aplicación de esta jerarquía nos ayudaría a solventar muchos de los problemas que tenemos en la actualidad: puede ayudar a prevenir emisiones de gases de efecto invernadero, ahorrar energía, crear empleos, reducir la contaminación...

Los métodos más utilizados y conocidos para el tratamiento de residuos son:

- **Reutilización** se refiere a darle un segundo uso a ese objeto desechado, esta segunda oportunidad puede ser con los mismos o distintos fines para los que fue creado.

I. Introducción



Figura 3. Ejemplo proceso reutilización.

- **Reciclado** es un proceso de recolección de los residuos y su posterior transformación para transformarlos en productos nuevos. No todos los desechos son reciclables pero cada vez se pueden reciclar más.
- **Incineración** se llama al tratamiento térmico que se somete a los residuos mediante una combustión controlada con la cual se reduce el volumen y además se puede aprovechar la energía liberada del proceso. En este proceso podemos encontrar algunos problemas si no se trabaja correctamente la incineradora ya que si no se toman medidas para tratar los gases y partículas que salen puede ser peligroso para las personas y el medioambiente.
- **Compostaje** se trata de un proceso de revalorización y reutilización de la materia orgánica procedente de los residuos orgánicos. Este tratamiento de los residuos urbanos transforma los residuos orgánicos en abono muy beneficioso para las plantas ya que es libre en pesticidas.
- **Vertido controlado** se trata de un lugar donde se deposita la basura. Como ya sabemos y como se puede ver en la figura 2, esta debe ser la última opción para el tratamiento de los residuos ya que ocasiona muchos problemas tanto al medioambiente como a las personas.

I. Introducción

I.3. SITUACIÓN ACTUAL.

Como ya se ha comentado anteriormente, la población esta creciendo y con ello los residuos que generamos, ya no solo por el simple hecho de ser más personas si no por el consumismo actual. En la siguiente figura se puede ver a nivel mundial los residuos que generamos.

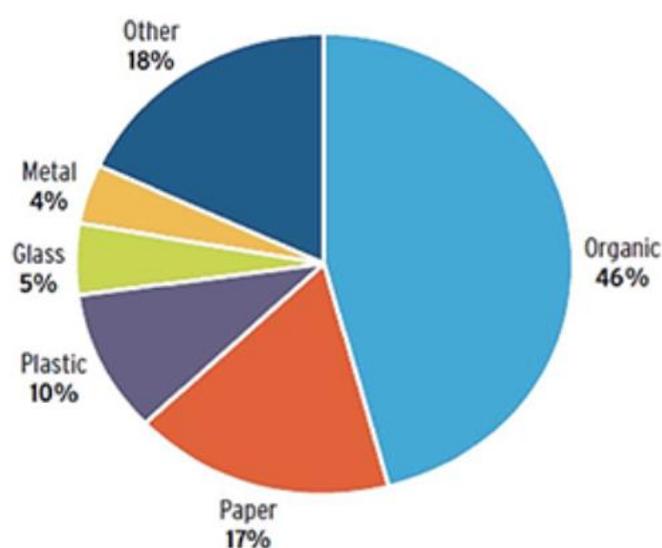


Figura 4. Distribución de la generación de residuos a nivel mundial.

En España el reciclaje, la revaloración y el aprovechamiento energético son una opción minoritaria frente a los vertederos, al contrario que ocurre en países europeos como Suecia, Dinamarca, Alemania, Suiza...

I. Introducción

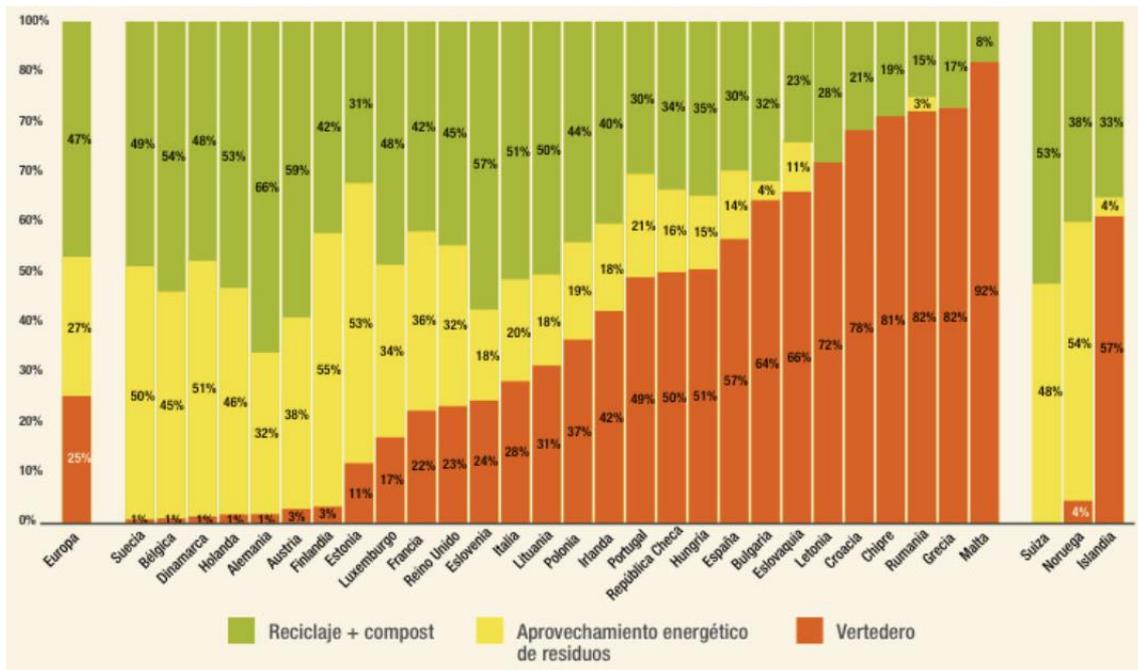


Figura 5. Tratamiento final de residuos en distintos países.

En 2019, en España, generamos mas de 132,1 millones de toneladas de desperdicios de todo tipo, en la siguiente figura se muestra el porcentaje de cada tipo de residuo generado.

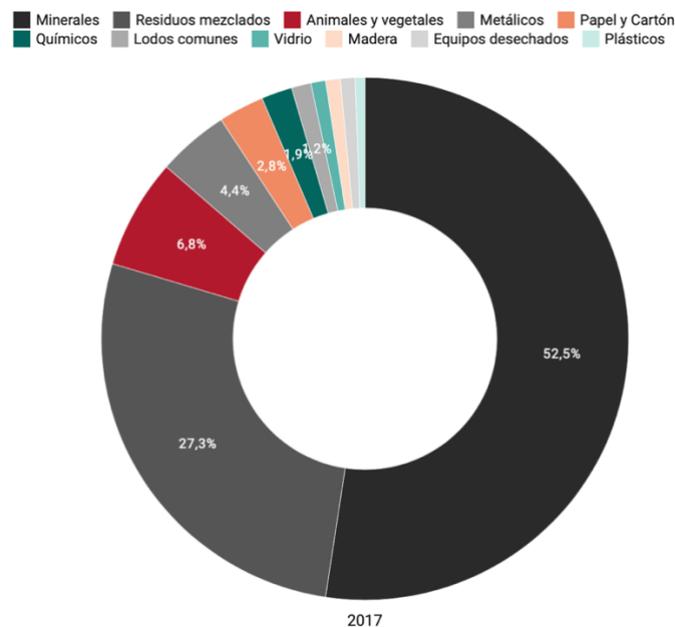


Figura 6. Residuos en España en 2019.

I. Introducción

En España, las industrias y la construcción son los que mas desperdicios generan, aunque en los hogares se desecha un gran porcentaje y esto lo podemos ver en el siguiente gráfico.

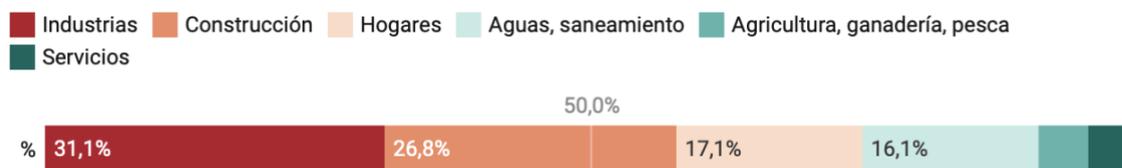


Figura 7. Origen residuos de España.

En la figura 6 se ha mostrado de esas 132,1 millones de toneladas generadas en 2019 el porcentaje de cada tipo de residuo producido y con la siguiente figura vamos a contrastar los datos de las dos figuras anteriores, la 6 y la 7.

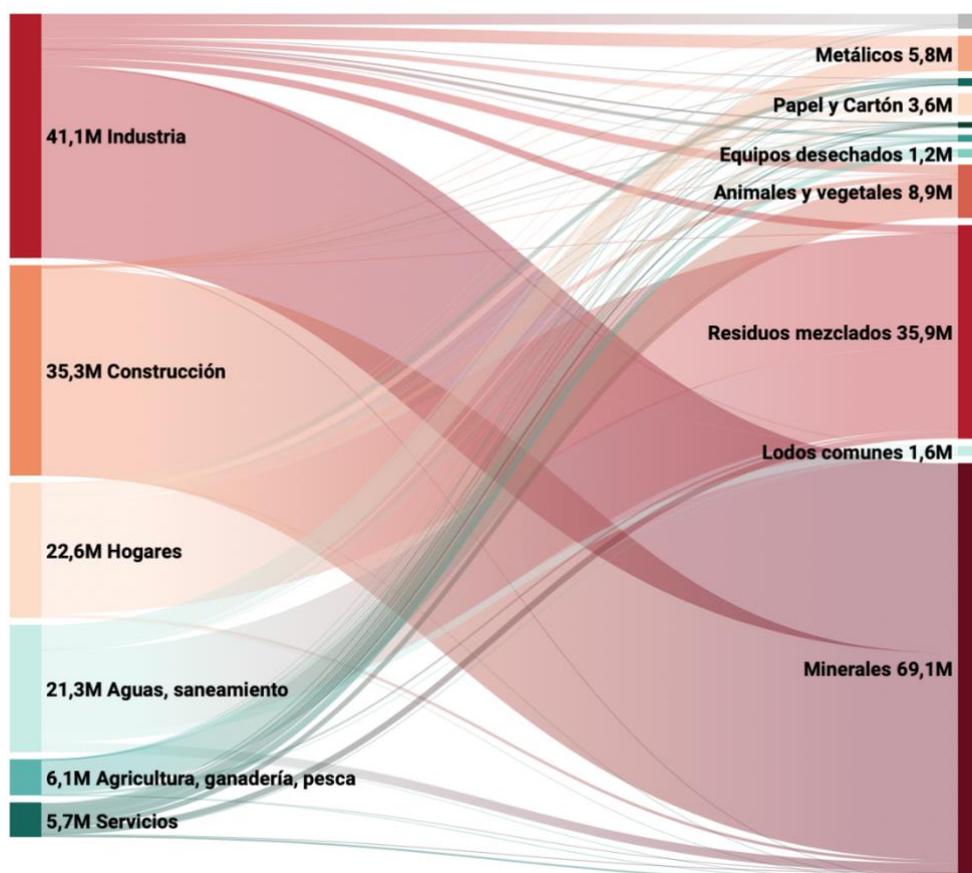


Figura 8. Origen de cada tonelada de basura.

I. Introducción

Como ya hemos visto en el gráfico de la figura 8, la mayor parte de desechos viene de la industria y la construcción, de los cuales la gran mayoría son minerales. Los residuos mezclados (el segundo tipo de desechos que más generamos en España) proviene sobre todo de los hogares y también del suministro de aguas, saneamiento...

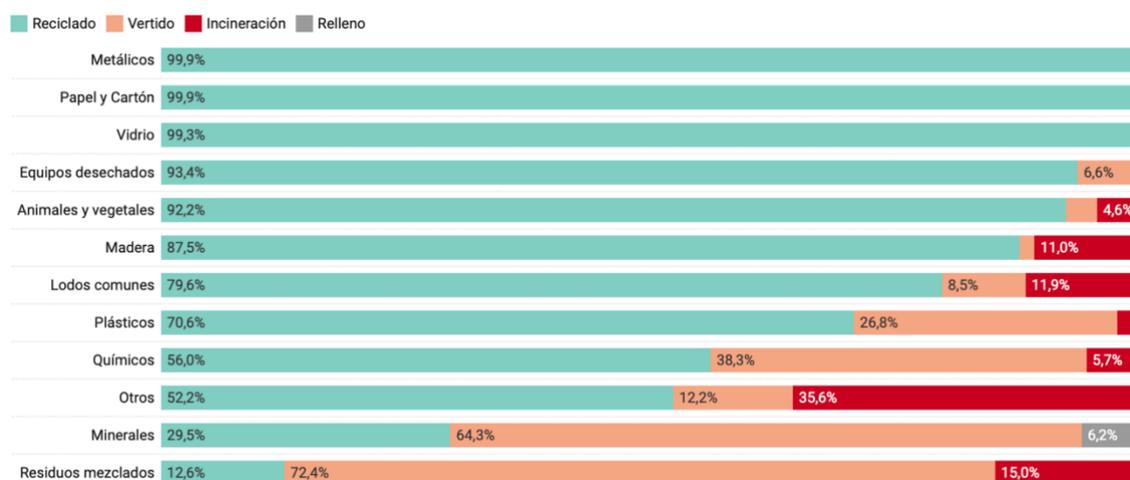


Figura 9. Tratamiento final de residuos en España.

Actualmente en España la mayor parte de los RSU generados son transportados a vertederos y con los datos vistos en este apartado y sobre todo en esta última figura, se plantea el motivo de este proyecto, el diseño de una planta de compostaje ya que ese 72,4% de residuos mezclados que va a los vertederos en España podría reducirse si se realizara una separación de la materia orgánica para producir compost. De esta forma evitaríamos que tantos residuos fueran a parar a los vertederos que, como ya se ha dicho antes, debe ser la última de las opciones.

Puesto que la plata de compostaje a diseñar tratará la materia orgánica procedente de los residuos de Orihuela, se han recogido datos los cuales nos servirán para el diseño.

I. Introducción

RESUMEN DE RESIDUOS DEL EXCMO. AYUNTAMIENTO DE ORIHUELA						
AÑO 2020						
RESIDUOS ORIHUELA (en Tn)						
	R.S.U.	ENSERES	PODAS	RESIDUOS L.V.	ALGAS	TOTAL
enero	3.509,96	110,40	303,74	53,38	0,00	3.977,48
febrero	3.289,06	130,26	336,42	16,18	0,00	3.771,92
marzo	3.378,42	133,84	317,74	22,24	0,00	3.852,24
abril	2.846,82	95,10	193,48	14,00	0,00	3.149,40
mayo	3.184,58	103,20	339,46	21,20	188,22	3.836,66
junio	3.261,84	152,16	454,78	46,56	304,56	4.219,90
julio	4.015,08	153,44	623,60	30,76	674,30	5.497,18
agosto	4.225,00	146,72	582,48	33,16	297,72	5.285,08
septiembre	3.415,85	114,00	460,96	27,68	278,40	4.296,89
octubre	3.123,77	116,94	511,40	21,68	5,76	3.779,55
noviembre	3.024,66	104,42	404,16	26,78	0,00	3.560,02
diciembre	3.019,31	71,96	342,66	28,14	0,00	3.462,07
TOTAL	40.294,35	1.432,44	4870,88	341,76	1748,96	48.688,39

ENVASES	CARTON	VIDRIO	TOTAL
58,40	45,54	164,15	268,09
54,70	54,84	129,31	238,85
65,64	41,70	206,65	313,99
60,52	30,50	159,67	250,69
66,48	44,20	142,53	253,21
56,52	58,56	135,41	250,49
85,22	53,88	208,84	347,94
78,02	66,48	166,50	311,00
67,68	62,48	193,72	323,88
66,98	62,04	205,67	334,69
61,08	47,58	197,24	305,90
50,40	52,32	128,30	231,02
771,64	620,12	2.037,99	3.429,74

Tabla 1. Datos residuos Orihuela.

En Orihuela, el año pasado se generaron un total de 40.294,35 toneladas de residuos sólidos urbanos. Sabiendo que la población total de esta ciudad es aproximadamente de 76.778 personas podemos estimar que cada año, un ciudadano oriolano genera 524,82 kilogramos de RSU, lo que viene siendo casi 1 kg y medio al día por habitante. Según se muestra en la tabla anterior también se recogen datos de toneladas de podas, residuos L.V. y algas que debemos sumar a esas casi 40.300 toneladas ya que según la Ley 22/2011 también son residuos sólidos urbanos, por lo tanto, en 2020 se generaron 47.255,95 toneladas de RSU en la ciudad de Orihuela. De manera que, siguiendo el razonamiento anterior, un ciudadano oriolano genera 615,49 kilogramos al año y, esto es casi 1,7 kg al día por habitante.

I.4. ¿QUÉ SE PUEDE COMPOSTAR?

Para tener una idea de la materia orgánica que se va a tratar en este apartado se detalla qué residuos de los generados en los hogares pueden o no pueden compostarse. También se van a dar algunas pautas por si al lector le interesa realizar el compostaje a nivel doméstico ya que el compostaje es un proceso que se puede realizar tanto a gran como a pequeña escala.

I.4.1. Residuos que se pueden compostar

- Restos de fruta y verdura cruda, cocida o asada.

I. Introducción

- Cáscaras de frutos secos (no añadir directamente, es preferible quemarlos y depositar las cenizas).
- Cáscaras de huevo, hueveras de cartón, cartón ondulado...
- Arroz o pata cocida.
- Yogures y zumos caducados.
- Bolsas de infusión (importante eliminar elementos metálicos como grapas), filtros de café.
- Papel de cocina, servilletas de papel...
- Tubo de cartón del papel de aluminio, del papel de cocina, del papel higiénico...
- Pan.
- Hojas, flores, cualquier planta verde o seca, hierba.
- Restos de poda triturados, paja.
- Cenizas, serrín.

I.4.2. Residuos que no se pueden compostar

- Carnes, pescados, huesos.
- Huesos de fruta.
- Plantas enfermas.
- Heces de animales o de seres humanos.
- Queso.
- Aceites fritos o cualquier producto mencionado en el apartado anterior que pueda contener.
- Cenizas de carbón.
- Ceniza o serrín de madera tratada.
- Revistas o papel impreso a color.
- Restos de aspiradoras o de barrer.
- Filtros de cigarrillos.

I. Introducción

I.4.3. Pautas a tener en cuenta para la correcta elaboración del compostaje

Hay que tener extremada atención con los siguientes alimentos:

- Pielas de cítricos, pueden compostarse pero el tiempo de descomposición es más largo y puede ir acumulándose por ello se aconseja echar pequeñas cantidades.
- Tomates, las semillas de esta fruta pueden perdurar en el compost y llegar a germinar en lugares no deseados.

Como se observa en los distintos productos que se pueden compostar estos se pueden dividir en dos tipos: productos frescos y húmedos, como restos de verdura, césped... que aportan humedad al proceso y productos secos, como cenizas, hojas o plantas secas, cartón... que impiden que la mezcla se apelmace favoreciendo la circulación del aire. Es muy importante mantener siempre un equilibrio entre el material húmedo y el seco.

I.5. COMPOSTAJE.

I.5.1. Concepto

Se trata de un proceso aerobio liderado por microorganismos que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica produciendo tierra humus de los desechos orgánicos. Es una tecnología sencilla y económica la cual aprovecha cualquier basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércol de animales, etc.

Como consecuencia de la presencia de microorganismos además de ser un proceso biológico y aerobio es también termófilo y para llevarlo a cabo se necesita: materia orgánica biodegradable, población microbiana inicial que va a permitir el desarrollo del compostaje y unas condiciones óptimas. Los microorganismos, como se verá más adelante, van a actuar elevando la

I. Introducción

temperatura (proceso exotérmico), reduciendo el volumen y el peso de la materia orgánica y produciendo su humificación y oscurecimiento.

El compostaje, como ya se ha comentado, es un proceso sencillo y se puede aplicar tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente.

I.5.2. Proceso: etapas

Se observan cuatro etapas en el proceso de descomposición aeróbica:

I.5.2.1. Etapa mesófila

Inicialmente la materia orgánica está a temperatura ambiente pero debido a la acción de los microorganismos mesófilos que comienzan a degradar fracciones de carbono débiles (carbohidratos) se eleva la temperatura rápidamente hasta aproximadamente los 40 °C. En esta etapa se generan ácidos orgánicos que hacen bajar el pH. Esta etapa se realiza durante los primeros días.

I.5.2.2. Etapa termófila

Cuando se alcanza una temperatura superior a 40 °C intervienen los microorganismos termófilos que transforman el nitrógeno en amoníaco y se pierden los ácidos orgánicos formados en la primera fase. De este modo, el pH se vuelve alcalino. En esta etapa los productos de carbono más resistentes se degradan. Esta etapa puede durar de 2 a 4 semanas.

Las dos primeras etapas comentadas son las más rápidas. En estas dos primeras etapas es donde se producen más emisiones y donde la necesidad de aireación y humedecimiento es más alta. Debido a esto el control del proceso es especialmente importante durante las etapas mesófila y termófila. En las siguientes fases el proceso de biodegradación es más lento, no hay necesidad de aireación o humedecimiento pero sí es ventajoso mezclar y mover el compost para que sea lo más homogéneo posible.

I. Introducción

I.5.2.3. Etapa de enfriamiento

La temperatura acaba descendiendo debido a que en la etapa anterior se eleva tanto la temperatura que cesa prácticamente la actividad microbiana. Cuando la temperatura es inferior a 60 °C vuelven a aparecer los microorganismos termófilos que descomponen la celulosa y al bajar a 40 °C también reaparecen los mesófilos, que reinician su actividad y el pH se neutraliza debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón.

I.5.2.4. Etapa de maduración

Requiere meses a temperatura ambiente por lo que la actividad microbiana baja. Durante estos meses ocurren reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus, proliferan hongos y se degradan polímeros complejos.

En la siguiente figura se puede ver un esquema que resume lo comentado en las 4 etapas anteriormente descritas.

I. Introducción

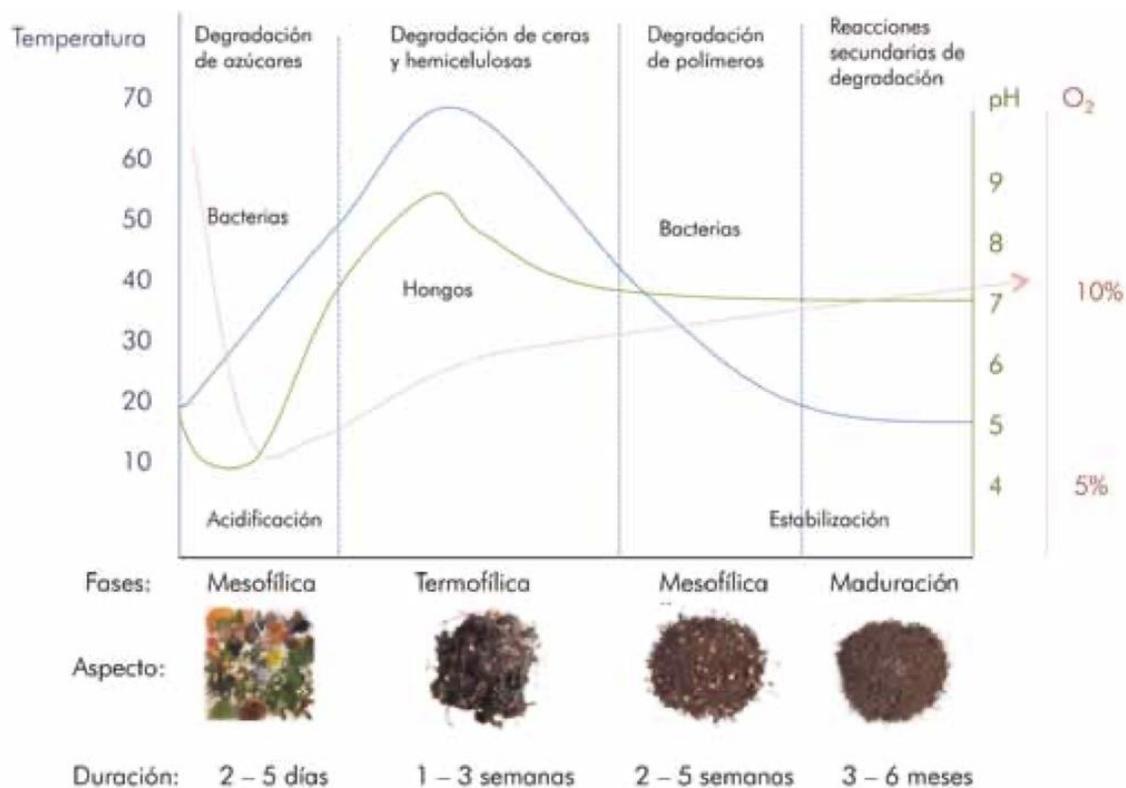


Figura 10. Etapas compostaje.

I.5.3. Parámetros a controlar

Como cualquier proceso, se requieren controlar parámetros para verificar y asegurar una óptima calidad. Durante el compostaje se deben controlar los parámetros que refuercen la correcta proliferación microbiana y, por consiguiente, una correcta mineralización de la materia orgánica.

Los resultados óptimos de este seguimiento y control del proceso de compostaje están influenciados por las condiciones ambientales y el tipo de residuo.

Los parámetros más importantes que afectan a este proceso y por tanto hay que establecer un control de ellos, se pueden clasificar en dos tipos de parámetros:

I.5.3.1. Parámetros de seguimiento

Deben ser medidos y realizar un seguimiento de ellos durante todo el proceso.

Entre estos parámetros se encuentran:

I. Introducción

I.5.3.1.1. Temperatura

Como ya se ha comentado en las distintas etapas del compostaje, debido a la actividad microbiana se genera calor aumentando la temperatura. Pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de humedad, pH o C/N, esto es así porque dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el material actuarán las bacterias mesófilas o termófilas, o si la temperatura llega a ser muy alta se inhibe por completo la actividad microbiana.

Cada especie de microorganismos tiene un intervalo de temperatura óptima siendo de 15-40 °C para mesófilos y 40-70 °C para termófilos.

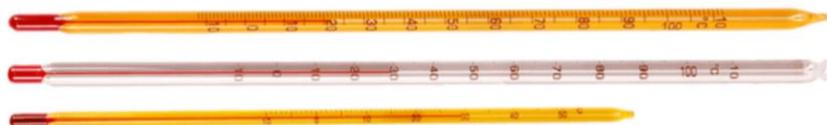


Figura 11. Termómetro de alcohol.

Para la medición de la temperatura sería recomendable usar un termómetro de alcohol, es mucho más fiable que el termómetro de mercurio y más apropiado para el compostaje debido a las altas temperaturas a las que se llega en este proceso, ya que el de mercurio puede romperse si las temperaturas llegan a ser muy elevadas y el compost se contaminaría ya que el mercurio es muy dañino para las plantas. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de como de mide la temperatura en pilas estáticas de compostaje.

I. Introducción



Figura 12. Control temperatura en pilas de compostaje.

Pero el termómetro que se va a utilizar en este proyecto es el que se muestra a continuación cuyas características y precio se especifican en el estudio económico. Este termómetro está diseñado exclusivamente para el compostaje y por ello se ha escogido.



Figura 13. Termómetro termopar.

I. Introducción

I.5.3.1.2. Humedad

La presencia de agua es indispensable en este proceso. La humedad del compostaje debe ser tal que el agua no ocupe por completo los poros de la masa de compostaje para permitir el paso del oxígeno.

La humedad óptima para residuos sólidos urbanos se encuentra entre 50 y 55%. Es necesario saber que la actividad biológica disminuye cuando la humedad es inferior a 30%, sin embargo, si está por encima de 70% el agua se desplaza al aire en los espacios libres de la masa y se reduce la transferencia de oxígeno, provocando una anaerobiosis, esto es cuando las condiciones se hacen anaerobias, y la consecuencia de esto son malos olores y el proceso se ralentiza ya que habría que tratar ese exceso de humedad.

En la siguiente figura se muestran dos mediciones distintas de la humedad en el compost. Se puede saber si tiene una humedad adecuada con el medidor que se encuentra en la parte derecha o bien apretando una cantidad del abono en la mano. Si con la presión se observan gotas (como en la imagen) es que tiene una humedad adecuada, si no se observa líquido o, por el contrario, sale mucho el compost no es adecuado y habría que tratarlo.



Figura 14. Medición de la humedad.

I. Introducción

I.5.3.1.3. pH

Tiene una influencia directa debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. El seguimiento y su medida se realiza en el laboratorio sobre el extracto acuoso. Indirectamente, con el seguimiento del pH se controla también la aireación ya que si en algún momento se crean condiciones anaerobias se liberan ácidos orgánicos acidificando el pH. El producto final debe tener un pH entre 7 y 8.



Figura 15. Medición pH.

I.5.3.1.4. Aireación

Estamos ante un proceso aerobio y por tanto es de vital importancia la presencia de oxígeno. Las pilas de compostaje tienen porcentajes variables de oxígeno, la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como aire (18-20%) y conforme avanzamos hacia el interior de la pila el contenido de oxígeno disminuye, al contrario pasa con el dióxido de carbono que va aumentando.

Si la aireación es insuficiente se producen condiciones anaerobias que provocan el retardo de descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y malos olores. Por otra parte, el exceso de aireación provoca el enfriamiento de la masa reduciendo la actividad biológica.

I. Introducción

I.5.3.2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

Deben ser medidos principalmente al inicio del proceso.

I.5.3.2.1. Tamaño

El tamaño de la basura que se quiere compostar es crucial para la optimización del proceso ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta a los microorganismos más rápido será el proceso de degradación. El triturado y desmenuzamiento de la materia facilita el ataque microbiano y aumenta la velocidad del proceso, como contrapartida, un tamaño pequeño reduce el espacio entre partículas (riesgo de compactación), lo que aumenta las fuerzas de fricción y, además, limita la aireación haciendo imposible la aireación por convección natural, no dejando entrar el suficiente oxígeno ni dejando salir el dióxido de carbono. Las dimensiones óptimas de las partículas son entre 1 y 5 cm.

I.5.3.2.2. Relación C/N

La relación Carbono/Nitrógeno ideal del producto es cerca de 10, se considera que el producto ya es estable y maduro cuando $C/N < 20$.

Si esta relación es mayor que 40 la actividad microbiana disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono, lo que ralentizará el proceso.

Si la relación es baja, el proceso se realiza más rápidamente, se desprende como amoníaco el exceso de nitrógeno lo que resulta un problema medioambiental ya que el amoníaco se considera un gas efecto invernadero.

I.5.3.2.3. Materia orgánica

Durante el proceso la materia orgánica desciende debido a su mineralización y a la pérdida de carbono, estas pérdidas llegan a representar casi el 20% en peso de la masa compostada.

Este descenso ocurre en dos etapas: en la primera se produce un rápido decrecimiento de los carbohidratos que se transforman en compuestos más simples y, algunos de ellos, se reagrupan formando moléculas complejas que dan lugar a compuestos húmicos. En la segunda etapa, consumidos los compuestos

I. Introducción

más ligeros, los materiales mas pesados y complejos se degradan lentamente transformándose en compuestos húmicos.

I.5.3.2.4. Conductividad eléctrica

Está determinada por la composición del material que se quiere compostar, principalmente por su concentración de sales.

La conductividad eléctrica aumenta durante el proceso debido a la mineralización de la materia, aunque a veces puede ocurrir un descenso debido a que la masa debe estar muy húmeda y los nutrientes y minerales se pierden por los productos lixiviados.

Un exceso de salinidad en el producto va a provocar dificultad en la absorción de agua por las raíces de las plantas.



Figura 16. Medidor CE.

I.5.4. Producto final o “compost”

Este abono, producto del compostaje, desde el punto de vista higiénico es impecable, puede utilizarse para la horticultura, agricultura, silvicultura y mejoramiento del suelo contra erosión. Además, tiene un olor agradable, como a

I. Introducción

tierra húmeda y es totalmente beneficioso para las plantas, tiene una gran capacidad de retención de agua, no acidifica y actúa como sustituyente de fertilizantes químicos.

I.5.5. ¿Por qué compostaje?

Con este proceso se pueden conseguir las siguientes ventajas:

I.5.5.1. Ventajas económicas

A continuación, se describen las principales ventajas que puede aportar el compost desde el punto de vista económico:

- Se crea un producto (compost) de valor a partir de un residuo, el cual se vende para usarse como sustrato para el crecimiento de plantas.
- Reemplazo de fertilizantes artificiales por un producto más económico y natural.
- Se evita el uso masivo de vertederos (la cantidad de basura destinada a vertederos se puede reducir hasta un 50%).
- Suelos con mayor retención de agua.
- Aumenta la población microbiana.
- Se puede almacenar pues no atrae insectos.

I.5.5.2. Ventajas ecológicas

También se quieren mencionar mediante un listado de ventajas los efectos ecológicos del producto generado con el compostaje:

- Se consigue reducir el consumo de abonos químicos que no son tan buenos para los frutos de las plantas que luego consumimos.
- Menos productos lixiviados y gases contaminados.
- Menor impacto paisajístico.
- La producción de compost puede servir como estabilizador contra la erosión.

I. Introducción

- El compost, al ser un fertilizante natural, no sobrecarga al suelo químicamente.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo que se persigue con este proyecto es la valorización de la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos que se recogen en la ciudad de Orihuela mediante pilas de compostaje, obteniendo un producto de valor y calidad que puede ser comercializado y usado como abono orgánico. La cantidad anual de RSU que se van a recoger son 47.255,95 toneladas.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Entre los objetivos particulares referentes a este proyecto encontramos:

1. Búsqueda bibliográfica.
2. Selección de la ubicación.
3. Definición del volumen de residuos a tratar.
4. Estudio del área necesaria para el dimensionamiento de la unidad de compostaje.
5. Estudio de los diferentes procesos necesarios para la realización del proceso.
6. Estudio económico del proyecto.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

III. DESARROLLO PROYECTO

**DESARROLLO
PROYECTO**

III. Desarrollo proyecto

III.1. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.

En este apartado se van a mostrar los criterios de selección a tener en cuenta para la elección de la ubicación de la planta ya que es una parte del proyecto importante.

En la figura 17 se muestra el mapa de la región de la Vega baja capturado de Google Maps tanto en vista satélite (derecha) como en vista mapa (izquierda).

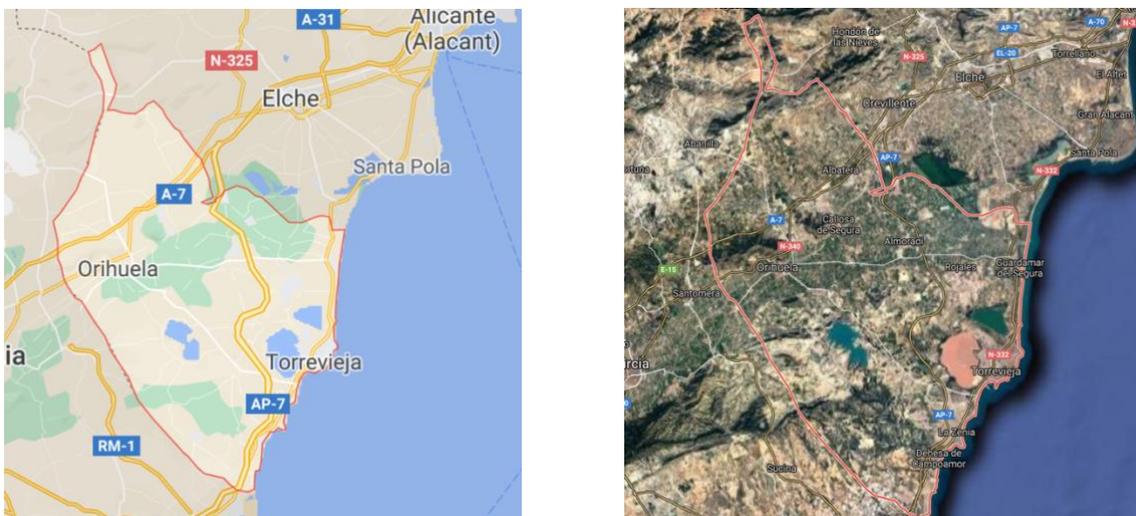


Figura 17. Mapa Vega Baja.

En la siguiente figura se muestra la zona donde se quiere implantar la planta de compostaje y se resalta dónde está Orihuela. Este lugar parece idóneo para el desarrollo de este proyecto ya que es una zona de campo y poco habitada. Además, la calidad de las carreteras existentes en esa zona es buena y con poco tráfico, y se encuentra a unos 20 minutos aproximadamente de la ciudad de Orihuela. También se ha tenido en cuenta para la elección del lugar la dirección del viento que en este caso es de oeste a este (poniente) y como al rededor de esta zona no se encuentra ningún núcleo de población grande esto lo hace el lugar perfecto ya que el impacto paisajístico sería prácticamente nulo al encontrarse en una zona de campo. Hay que destacar que otro punto a favor de este lugar es que a unos 3 kilómetros se encuentra el trasvase Tajo-Segura lo cual es favorecedor por si en algún momento es necesario el uso de agua.

III. Desarrollo proyecto

Tal y como se expresa en el estudio económico, los actuales terrenos serán comprados o expropiados por un valor de 55 €/m².

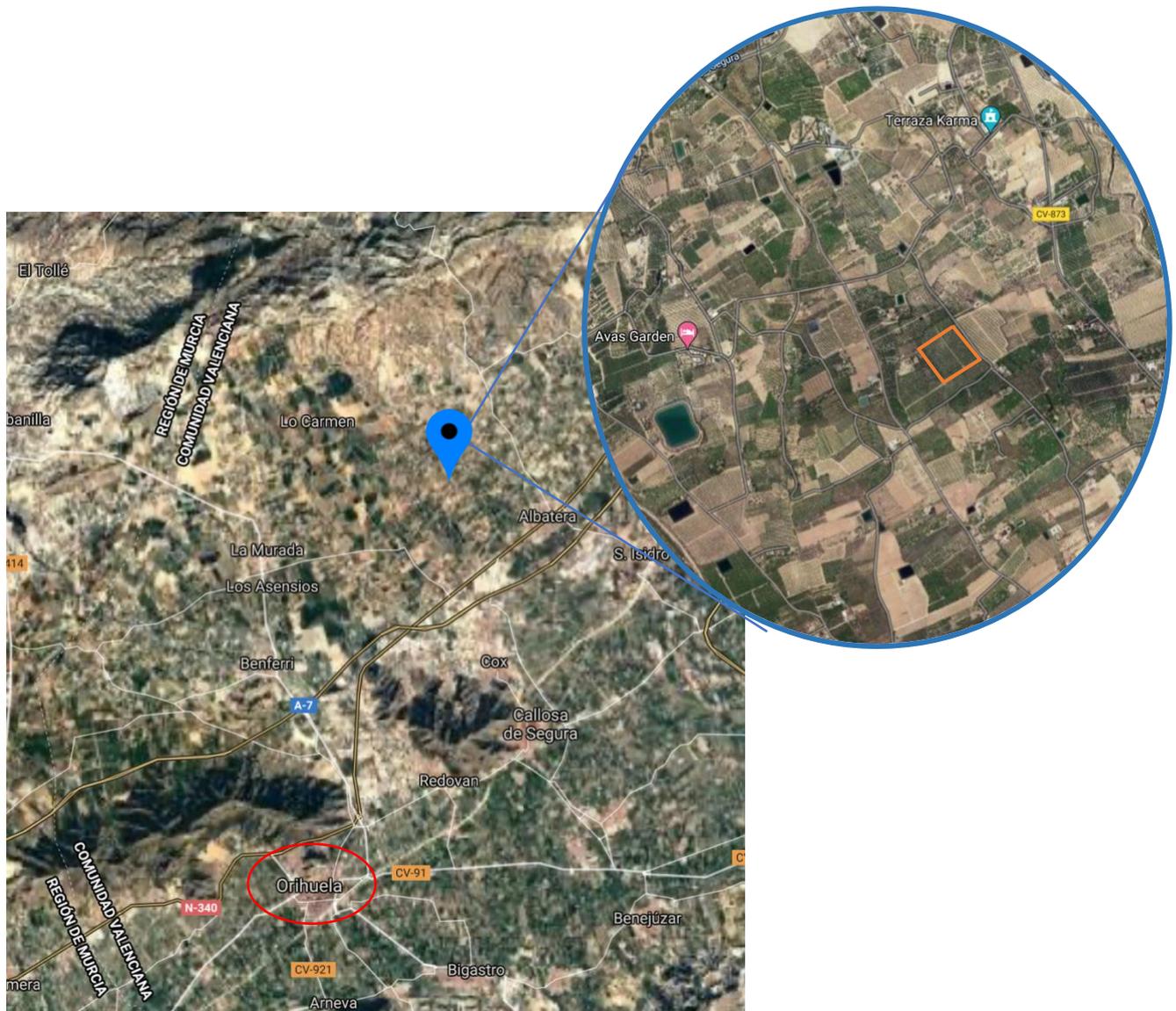


Figura 18. Mapa ampliado.

III. Desarrollo proyecto

III.2. ADECUACIÓN DEL TERRENO.

Este apartado se va a dividir en dos partes: la adecuación del terreno donde se realizará el proceso de compostaje mediante las pilas estáticas y por otro lado la mejora o apertura de los caminos de acceso a la planta, así como el cercado de la finca.

La preparación del terreno donde se situarán las pilas de compostaje es fundamentalmente para evitar la contaminación del suelo y aguas subterráneas debido a la generación de lixiviados en el proceso y para ello se debe impermeabilizar el suelo con una capa de plástico HDPE o LDPE de 0,8 mm de espesor. Antes de colocar el plástico impermeable se hace necesario adecuar el terreno con una capa de arcilla y, además, para que sea más fácil la recogida de lixiviados, el terreno debe tener una pendiente superior al 1%. Se tiene en cuenta la posibilidad de pavimentar el terreno con el fin de asegurar la no infiltración de los lixiviados y aislar lo máximo posible el suelo de este proceso y sus consecuencias. El pavimentado se realiza sobre la lamina plástica de polietileno y, por tanto, sobre la arcilla.

Al final de la finca se coloca una canaleta donde se recogerán los líquidos lixiviados de las pilas de compostaje que viajarán por toda la finca haciendo fácil su trayecto la impermeabilización y la pendiente realizada. Finalmente, los lixiviados llegarán a una balsa por medio de la canaleta y posteriormente serán transportados a una planta de tratamiento físico-químico-biológico.



Figura 19. Impermeabilización del terreno.

III. Desarrollo proyecto



Figura 20. Canaleta para recoger lixiviados.

También se deberán hacer fosos para la descarga y recepción de la basura de los camiones. Los fosos serán similares a los mostrados en la figura 21, de hormigón y techados con un fácil acceso para los camiones.



Figura 21. Fosos de recepción.

Otra obra a tener en cuenta es una nave industrial donde se puedan guardar las máquinas, donde esté el laboratorio para poder realizar los análisis químicos necesarios y también se encuentren estancias como baños, comedor, vestuarios... para los

III. Desarrollo proyecto

trabajadores. En esta nave también se realizarán operaciones como los triajes y el almacenamiento.



Figura 22. Nave industrial.

Por otro lado, la finca debe estar vallada y se deberán mejorar o, en el caso de que no existieran, se tendrían que abrir caminos para facilitar el acceso a la planta. Los costes y dimensionado de todo lo mencionado en este apartado se detalla en el estudio económico puesto que se tienen en cuenta los cálculos del proyecto que se realizan más adelante.

III. Desarrollo proyecto

III.3. DIAGRAMA DEL PROCESO.

En este apartado se pretende dar una vista esquemática de qué se realiza desde que llega la basura hasta que se transforma en el producto. El diagrama realizado es muy sencillo e intuitivo, como se observa en la figura 23, y se ha tenido en cuenta el siguiente criterio de símbolos para su elaboración.

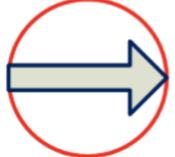
SIMBOLO	CONCEPTO	DESCRIPCION	
	ALMACEN	ACOPIO DE MATERIAS PRIMAS	Tanto de materia prima, de producto en proceso o de producto terminado
	TRANSPORTE	CUALQUIER MOVIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS, SEMIELABORADOS Y PRODUCTOS TERMINADOS. SE INDICA EL SISTEMA	Es la acción de movilizar de un sitio a otro algún elemento en determinada operación o hacia algún punto de almacenamiento o demora
	OPERACIÓN	INDICA CUALQUIER TRANSFORMACIÓN FISICA O QUIMICA	Significa que se efectúa un cambio o transformación en algún componente del producto, ya sea por medios físicos, mecánicos o químicos, o la combinación de cualquiera de los tres
	ESPERA O DEMORA	CUANDO EXISTE UN TIEMPO DE ESPERA EN EL PROCESO: CURADO, SECADO, COCCIÓN U OTROS	Se presenta generalmente cuando existen cuellos de botella en el proceso y hay que esperar turno para efectuar la actividad correspondiente. En otras ocasiones el propio proceso exige una demora
	INSPECCION O CONTROL	COMPROBACIONES DE CALIDAD, DIMENSIONALES, ETC	Es la acción de controlar que se efectúe correctamente una operación, un transporte o verificar la calidad del producto
	COMBINADA	DOS OPERACIONES SE REALIZAN SIMULTANEAMENTE	Ocurre cuando se efectúan simultáneamente dos o más de las acciones mencionadas

Tabla 2. Símbolos internacionales.

III. Desarrollo proyecto

La basura llega a la planta mediante los camiones de recogida de residuos urbanos, a continuación, se realiza 2 triajes: el primero de manera manual y el segundo es una separación y un triturado mecanizado. Del triaje, como es lógico, se desecharán residuos no aptos para el proceso de compostaje. Después, del segundo triaje, lo que sí es válido para compostar pasa a un almacenamiento, que durará una quincena. Una vez almacenado la cantidad suficiente se dispone a realizar el compostaje distribuyendo la basura en pilas. Como ya se ha comentado anteriormente, en el proceso de compostaje se debe controlar perfectamente ya que muchos de los parámetros influyen en el aspecto y calidad del producto final. Al mismo tiempo que se realiza el compostaje, se recogen los lixiviados que se trasladan a una balsa para poder controlar este vertido. Terminado el proceso, que durará unos 3 meses aproximadamente, se procede a realizar un control granulométrico del abono que descartará tamaños superiores a 25 mm devolviéndolos al proceso para que finalicen su maduración. Finalmente, con la parte del abono cuyo tamaño (inferior a 25 mm) indica que el producto está maduro se prepara para su venta y distribución.

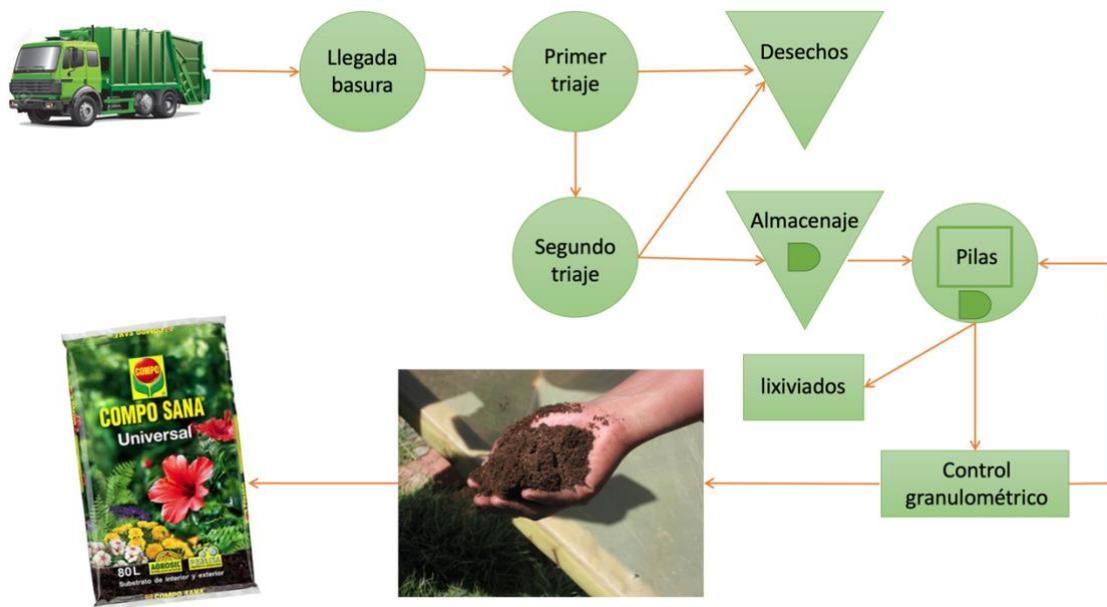


Figura 23. Diagrama del proceso.

III. Desarrollo proyecto

III.4. UNIDAD DE SEPARACIÓN.

Una vez llegan los residuos a tratar a la ubicación detallada en la figura 18, se hace indispensable un primer triaje ya que no podemos confiar en que los ciudadanos oriolanos hayan hecho una correcta separación de la basura generada en sus hogares. Aunque existan contenedores específicos para la materia orgánica también llegará basura a la planta del contenedor del “mix”, por ello es tan importante esta separación ya que si no se hace correctamente el producto que se genera (compost) estaría contaminado y no sería apto para su uso.

En este primer triaje manual, similar al que se muestra en la siguiente figura, se realiza una clasificación preliminar descartando todos los materiales que no sean biodegradables ya que como se ha comentado, puede resultar perjudicial para el producto que se va a elaborar.



Figura 24. Separación manual.

Después, se realiza una segunda clasificación, pero esta es mecanizada mediante una criba tambor que clasifica los desechos mientras los desmenuza, lo cual es muy favorecedor porque ya se comentó en apartados anteriores que se tiene un tamaño óptimo de partículas que facilitan su proceso de degradación (entre 1 y 5 cm). Este es un equipo muy estándar en las plantas de compostaje y consiste en un tambor bastante grande, construido en general de hierro galvanizado o de acero inoxidable con aperturas

III. Desarrollo proyecto

para cribar. Vigas o dientes integrados en la pared interior ayudan a trozar los desechos. Se muestra un ejemplo de una criba tambor en la figura 25.



Figura 25. Criba tambor.

En la siguiente tabla se detallan las características de esta criba tambor de modelo YTS2000.

Rango de longitud (m)	2 - 9
Pantalla de segmentos	1 - 4
Rango de malla (mm)	5 - 60
Potencia (kW)	5,5
Grado de inclinación	7 °
Tamaño máximo (mm)	90
Velocidad angular (rpm)	8
Capacidad (m³/h)	45
Peso (kg)	11

Tabla 3. Características criba tambor.

III. Desarrollo proyecto

III.5. TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS.

El transporte de los residuos durante las distintas operaciones que tiene el proyecto se va a realizar mediante un conveyor o cinta transportadora y, respecto al movimiento de los residuos desde el foso hasta donde se encuentra el conveyor, estos se van a transportar mediante una grúa como la que se muestra en la siguiente figura.



Figura 26. Grúa de transporte.

El conveyor transportará los residuos hasta el almacenamiento de la materia orgánica pasando por los dos triajes. La altura a la que verterá la materia orgánica en el área de almacenamiento es de 7 metros de altura, con este límite se calcula más adelante el área de almacenamiento necesario.



Figura 27. Transporte de los residuos.

III. Desarrollo proyecto

Por último, se necesitan máquinas para el transporte de los residuos desde el almacenamiento hasta la disposición de las pilas. Se trata de máquinas cargadoras las cuales también transportarán el compost maduro hasta los camiones de carga que se encargarán de la distribución del producto.



Figura 28. Máquina cargadora ruedas Doosan DL250-5.

En la siguiente tabla se muestran algunas características de esta pala cargadora.

Capacidad colmado (m³)	2,5
Anchura cucharón (mm)	2.740
Profundidad excavación (mm)	98
Longitud total (mm)	7.475
Altura total (mm)	3.280
Peso corporativo (kg)	13.660

Tabla 4. Características pala cargadora.

III.6. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA A TRATAR.

La basura diaria que se genera contiene un 33% de materia orgánica que puede ser reciclada y devuelta a la tierra en forma de compost para plantas y cultivos, contribuyendo a la reducción de los desechos que se llevan a los vertederos o plantas de valorización.

Se debe tener en cuenta que el compostaje reduce el volumen de la materia orgánica en un 80%, es decir, por cada 100 kg de materia orgánica, se obtienen entre 20-25 kg de compost.

Como se especifica en la tabla 1, en Orihuela se recogen 40.294,35 toneladas al año de RSU a los cuales se les añadirán las 341,76 toneladas anuales de residuos de limpieza vial para, de este modo, aplicar lo que se comenta en los párrafos anteriores. Del total de 40.636,11 toneladas de basura, el 33% es materia orgánica por lo que se van a tratar para compostar 13.409,92 toneladas anuales y el resto se desechará a su lugar correspondiente. A estas toneladas anuales de materia orgánica es necesario añadir los restos de podas y algas que también se recogen en esta ciudad (como se especifica en la tabla 1) que, como ya sabemos, son RSU, por lo que al final se van a tratar anualmente 20.029,76 toneladas de materia orgánica.

Siguiendo la estimación que se comenta en los párrafos anteriores, si por cada 100 kg de materia orgánica se obtienen aproximadamente 20 kg de compost, en este caso, anualmente se obtendrán 4.005,95 toneladas de compost.

III. Desarrollo proyecto

III.7. SISTEMAS DE AIREACIÓN.

Para este apartado se tienen dos opciones o bien insertar tuberías en la pila, como se muestra en la figura 29, este método de aireación es el más barato, o también existen máquinas para realizar este proceso, la cual se muestra en la figura 30.



Figura 29. Tuberías aireación.

Estas maquinas llamadas volteadoras son mas costosas que la colocación de tuberías, pero, como se debe voltear o mezclar igualmente los residuos cada cierto tiempo cuando ya están en las pilas de compostaje, si se puede permitir la adquisición y el uso de estas máquinas se harían las dos cosas a la vez en mucho menos tiempo.

III. Desarrollo proyecto



Figura 30. Máquina volteadora.

Hay que destacar que, aunque se pueda airear y mezclar a la vez con una volteadora, aparece una limitación importante y es el dimensionado de las pilas de compostaje ya que la máquina debe pasar por encima de estas como se puede apreciar en la figura 30. Por lo tanto, si se quiere utilizar esta máquina las pilas deben ser del tamaño que esta exige.

Para la aireación en este proyecto se van a utilizar máquinas volteadoras BACKHUS A45, por lo que las pilas deben ser de una altura de 2,3 m. y de una anchura de 4,5 m. Se ha elegido esta máquina ya que tiene una tecnología diésel de bajo consumo y, además, es capaz de voltear 3.000 m³/hora.

III. Desarrollo proyecto

III.8. CÁLCULOS.

En este apartado se van a desarrollar los cálculos realizados para el dimensionado de las pilas de compostaje así como la obtención del área necesaria que requiere este proyecto.

III.8.1. Volumen de residuos

Se ha mencionado en apartados anteriores que anualmente se tratarán 20.029,76 toneladas de materia orgánica proveniente de los residuos sólidos urbanos recogidos en la ciudad de Orihuela. Como la recogida de la basura se hace a diario, entonces diariamente llegarán a la planta 54,88 toneladas. Para tratar los datos más cómodamente estas toneladas pasan a ser 54.880 kg diarios, debido a que la densidad que se va a utilizar está en las unidades de kg/m³.

En la siguiente tabla (obtenida de la revista *Frontiers in Energy Research*) se muestra una variedad de densidades que dependen del método de separación de los RSU, teniendo en cuenta que la mayoría de los residuos de este proyecto serán restos de comida y que las separaciones se han realizado tanto manual como mecánicamente se ha decidido utilizar un valor de la densidad entre la separación manual y mecánica, el cual se aproxima al valor de la densidad de los restos de comida, es decir, la densidad de los RSU a compostar es 513 kg/m³, como se especifica en la tabla 5.

Source of OFMSW	Density (kg/m ³)
Separated at source manually	750
Separated through mechanical device	790–810
Dried sample (105°C)	666
Pulper separation	933
Grounded and separated mechanically	328
Food waste	513

Tabla 5. Densidades.

Sabiendo la cantidad diaria de materia orgánica que se va a tratar y la densidad de este tipo de residuos se obtiene el volumen diario a tratar:

III. Desarrollo proyecto

$$V_{diario} (m^3) = \frac{kg \text{ diarios a tratar}}{\text{densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \quad (1)$$

Como no se va a compostar diariamente, si no que se almacenará la materia orgánica 15 días, se debe hallar el volumen de residuos que se va a almacenar y posteriormente a colocar en pilas para que los cálculos posteriores sean lo más exactos posible, esto es simplemente multiplicando por 15 días el volumen anterior.

$$V_{quincena} (m^3) = \frac{kg \text{ diarios a tratar} \cdot 15 \text{ días}}{\text{densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \quad (2)$$

$$V_{quincena} = \frac{54.880 \text{ kg} \cdot 15 \text{ días}}{513 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 1.604,68 \text{ m}^3 \quad (3)$$

III.8.2. Almacenamiento de residuos

Como ya se ha comentado, los residuos se van a almacenar 15 días. Para almacenar esos 1.604,68 m³ de basura en una quincena estos ocupan un área que es lo que se va a calcular en este apartado.

Para calcular esta área se debe tener claro que se almacenará en una pirámide de base cuadrada y de altura conocida de 7 metros (por la limitación de vertido del conveyor). Con este dato, simplemente usando la fórmula del volumen de una pirámide tenemos el área de almacenamiento necesaria quincenalmente:

III. Desarrollo proyecto



Figura 31. Pirámide de almacenamiento.

Volumen de una pirámide:

$$V = \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot h \quad (4)$$

Despejando L^2 :

$$L^2 = \frac{3 \cdot V}{h} \quad (5)$$

Por tanto, el área necesaria para almacenar los residuos de una quincena es:

$$L^2 = \frac{3 \cdot 1.604,68}{7} = 687,72 \text{ m}^2 \quad (6)$$

III. Desarrollo proyecto

La pirámide de almacenaje es de base cuadrada por lo que el lado de la base es de una longitud de:

$$L = \sqrt[2]{687,72} = 26,22 \text{ m} \quad (7)$$

III.8.3. Dimensionado de las pilas de compostaje

Para el estudio del dimensionado de las pilas de compostaje se han tomado 4 casos distintos en los que varía el número de pilas a distribuir y, por consiguiente, la longitud ya que el ancho y el alto están definidos anteriormente debido a la limitación del uso de una volteadora. La finalidad de este estudio con los distintos casos es hallar el área del terreno donde se va a realizar el proyecto.

Los datos fijos, necesarios para los cálculos posteriores, se resumen en la siguiente tabla:

Datos comunes		
Pilas compostaje	Alto (m)	2,30
	Ancho (m)	4,50
Ancho pasillos (m)	Pasillos laterales	1,50
	Pasillos frontales	4,50

Tabla 6. Datos comunes para el dimensionado.

Antes de ver los diferentes casos, se deben hacer unos cálculos previos, que son los siguientes:

- Cálculo del volumen por metro lineal

Tal y como se indica en la siguiente figura y en los datos de la tabla anterior, se ha decidido hacer pilas de 2,30 metros de altura y una base de 4,50 metros (limitación volteadora) por metro lineal.

III. Desarrollo proyecto

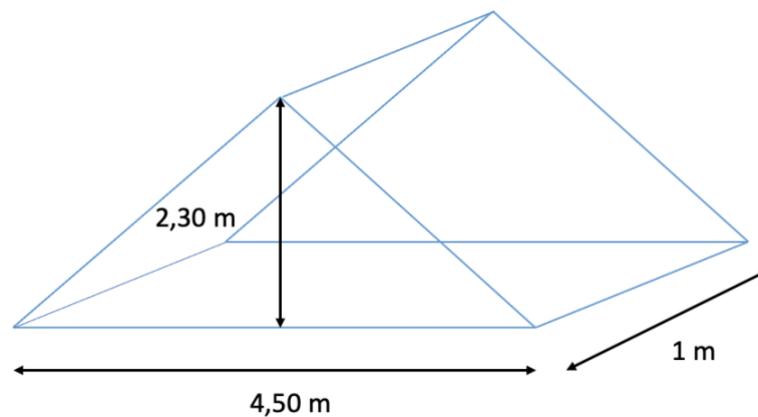


Figura 32. Volumen por metro lineal.

Para saber el volumen por metro lineal que puedo almacenar se debe tener en cuenta el área del triángulo que multiplicando por 1 metro lineal nos dará el volumen que ocupa:

$$A = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{2} \cdot 4,50 \cdot 2,30 = 5,18 \text{ m}^3 \quad (9)$$

De este modo tenemos que se necesitan $5,18 \text{ m}^3$ por metro lineal.

- Cálculo de la longitud de una pila

Para saber la longitud de una sola fila para una quincena de residuos debemos realizar el siguiente cálculo que consiste en dividir el volumen de residuos hallado entre los metros lineales obtenidos.

$$\text{longitud 1 pila} = \frac{1.604,68}{5,18} = 310,08 \text{ m} \quad (10)$$

III. Desarrollo proyecto

Las fórmulas utilizadas para resolver los distintos casos se detallan a continuación ya que son comunes en todos y simplemente la diferencia entre los casos es la variación del número de pilas.

Partiendo de un número de pilas x , la longitud de las pilas será:

$$l(m) = \frac{\text{longitud 1 pila}}{x} \quad (11)$$

Sabiendo el número de pilas podemos saber el número de pasillos laterales, que serán: $x + 1$.

Para calcular el área necesaria total se han dividido los cálculos en: área de las pilas, área de pasillos laterales y área de pasillos frontales. Finalmente, las 3 áreas se suman dando el área total del terreno que se necesita.

El área de las pilas quedaría de la siguiente forma:

$$A_{pilas}(m^2) = \text{Ancho} \cdot x \cdot l \quad (12)$$

$$A_{pilas} = 4,50 \cdot x \cdot l \quad (13)$$

El área de los pasillos laterales será la multiplicación del ancho de los pasillos, del número de pasillos y de la longitud de las pilas:

$$A_{laterales}(m^2) = 1,50 \cdot (x + 1) \cdot l \quad (14)$$

El área de los pasillos frontales será:

$$A_{frontales}(m^2) = 2 \cdot 4,50 \cdot (4,50 \cdot x + (x + 1) \cdot 1,50) \quad (15)$$

III. Desarrollo proyecto

Se trata de la multiplicación del ancho de los pasillos por la suma producto del ancho de las pilas por el número de pilas más el ancho de los pasillos laterales por el número de pasillos laterales, todo esto multiplicado por 2 porque siempre son 2 pasillos frontales.

Finalmente, tenemos el área total necesaria para una quincena:

$$A_{total}(m^2) = A_{pilas} + A_{laterales} + A_{frontales} \quad (16)$$

Para asegurarnos de que el proceso de hace correctamente es necesario realizar un sobredimensionado, de este modo evitamos problemas de sobreproducción y nos aseguramos tener el espacio necesario. El sobredimensionado se ha hecho al número de pilas aumentándolas un tercio por lo que los cálculos a realizar después del sobredimensionado son idénticos a los explicados anteriormente.

Una vez detallado el procedimiento de cálculo se muestran los resultados de los diferentes casos, resumidos en tablas.

n° pilas	Longitud (m)	n° pasillos laterales	Área pilas (m ²)	Área pasillos laterales (m ²)	Área pasillos frontales (m ²)	Área una quincena (m ²)
2	155,04	3	1.395,37	697,69	121,50	2.214,56
4	77,52	5	1.395,37	581,40	229,50	2.206,28
6	51,68	7	1.395,37	542,64	337,50	2.275,52
8	38,76	9	1.395,37	523,26	445,50	2.364,14

Tabla 7. Cálculos.

III. Desarrollo proyecto

Como se puede observar el caso que mejor se ajusta y que menor área necesita es el de 4 pilas pero se requiere de un sobredimensionamiento como se ha mencionado anteriormente.

n° pilas	Longitud (m)	n° pasillos laterales	Área pilas (m ²)	Área pasillos laterales (m ²)	Área pasillos frontales (m ²)	Área una quincena (m ²)
3	116,28	4	1.395,37	639,54	157,50	2.192,42
5	58,15	6	1.395,37	552,33	301,50	2.249,21
8	38,76	9	1.395,37	523,26	445,50	2.364,14
11	29,07	12	1.395,37	508,73	589,50	2.493,60

Tabla 8. Cálculos con sobredimensionado.

Debemos quedarnos con los datos obtenidos del sobredimensionado y, como se ve en la tabla, la elección del caso idóneo ha cambiado con el sobredimensionamiento, por lo que, el caso elegido para este proyecto atendiendo al volumen de residuos que vamos a tratar cada 15 días es la distribución de 3 pilas de 116,28 metros de longitud cada una y con 4,50 metros de ancho y 2,30 metros de alto. Finalmente, para saber el área necesaria se debe tener en cuenta que el proceso de compostaje dura 3 meses aproximadamente, por lo que el área a ocupar para este proyecto es de 13.154,51 m².

En el siguiente esquema se detalla la disposición final de las filas en una quincena, los pasillos frontales y laterales y todas las medidas. Esta etapa se repetirá durante los 3 meses de duración del proceso, es decir se repetirá 6 veces, ya que pasados estos meses el compostaje de la primera quincena habrá finalizado, ya estará maduro y listo para su distribución, y se podrá sustituir por residuos nuevos.

III. Desarrollo proyecto

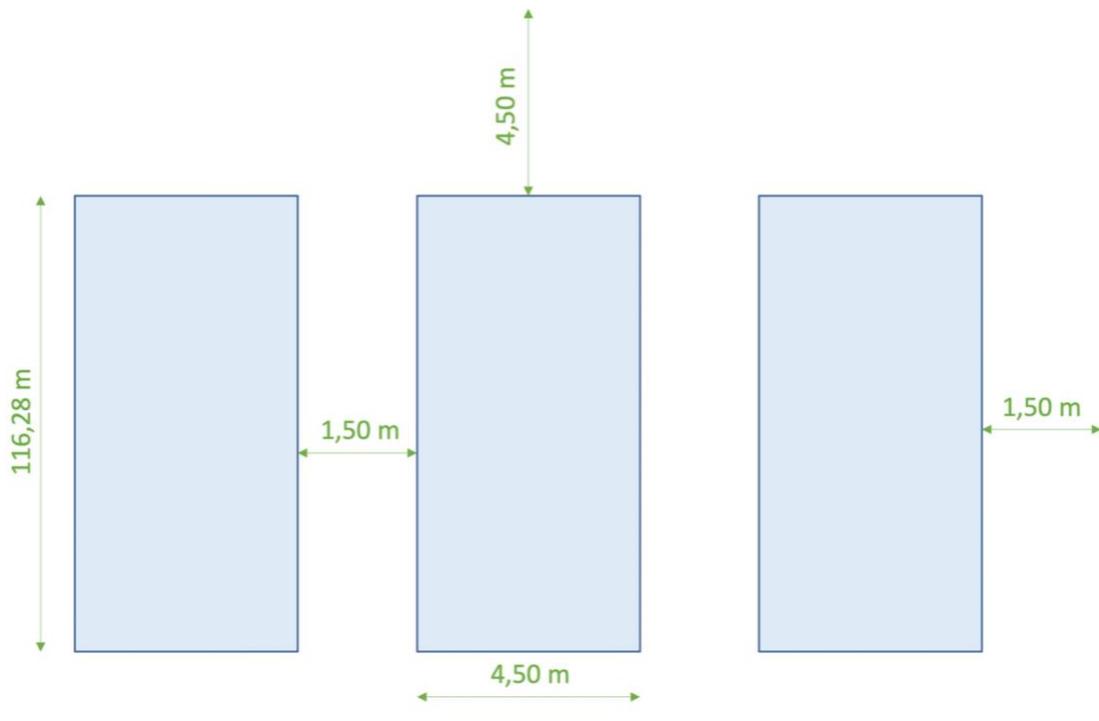


Figura 33. Disposición del terreno.

III. Desarrollo proyecto

III.9. RECOGIDA DE LIXIVIADOS.

Con el fin de causar el mínimo impacto ambiental, los lixiviados se recogerán en una balsa para ser tratados ya que este líquido es rico en nitritos y nitratos que se han formado durante el proceso. Estos compuestos si llegan a contaminar aguas subterráneas, suelos, etc., pueden llegar a las personas y ser ingerido y esto causaría graves problemas de salud. Dejando los lixiviados estancados en la balsa conseguiremos que esta actividad orgánica descienda.



Figura 34. Balsa para lixiviados.

Para poder transportar los lixiviados tratados de la balsa se necesitarán bombas que puedan impulsar este líquido. Las bombas de bombeo ayudarán a transportar los lixiviados hasta la unidad de tratamiento físico-químico-biológico o fosos de recogida de lixiviados.

La bomba elegida que se muestra en la figura es sumergible y de acero inoxidable ideal para aguas residuales, con un motor eléctrico que nos dará la potencia necesaria (2,2 kW) para el transporte de los lixiviados ya que el caudal máximo que alcanza es de 1.120 L/min.

III. Desarrollo proyecto



Figura 35. Bomba para lixiviados.

III. Desarrollo proyecto

III.10. CONTROL GRANULOMÉTRICO.

Una vez acabado el proceso de compostaje se procede a la venta, envasado y distribución del producto, pero puede ocurrir que de un mismo lote no toda la materia esté madura, por lo que se procede, por medio de una cribadora, a separar por tamaños el producto. Esto es, si el tamaño es mayor a 25 mm se devuelve a la pila para que termine de madurar y si es inferior está listo para su uso y comercialización. En la figura 36 se muestra la cribadora GTS1225 que se va a emplear en este proyecto, las características se muestran en la tabla 9.



Figura 36. Cribadora.

III. Desarrollo proyecto

Peso (kg)	4.200
Capacidad (t/h)	160
Potencia (kW)	5,5
Pantalla diámetro (mm)	1.200
Pantalla de longitud (mm)	2.500
Tamaño de descarga (mm)	0 ~ 100
Tamaño de entrada (mm)	≤ 300

Tabla 9. Características cribadora.

III. Desarrollo proyecto

III.11. VENTA Y DISTRIBUCIÓN.

En la venta y distribución del compost maduro, se procede a ensacar mediante una maquina específica para eso (que ensaca en sacos de 5 a 50 kg) y después se va a vender a una empresa, por ejemplo, la empresa Servicios Agrícolas que es una cooperativa agrícola de Orihuela con 10 almacenes distribuidos en las provincias de Alicante y Murcia. Esta empresa vendrá pasados los 3 meses de maduración y recogerá en sus camiones los sacos producidos de compost de forma trimestral, posteriormente lo transportará hasta su sede y venderán en distintos lotes los sacos de compost.



Figura 37. Ensacadora.

Respecto al transporte de los sacos hasta los camiones, los sacos se irán apilando en palets y estos serán transportados mediante la siguiente máquina específica para ello.

III. Desarrollo proyecto



Figura 38. Transpaleta manual.

El precio de compost es de 0,89 €/kg y sabiendo que cada año se producirán aproximadamente 4.005,95 toneladas (esto es conocido porque, como se ha mencionado anteriormente, aproximadamente se obtiene un 20% de compost del compostaje de la materia orgánica), sabemos que todos los años obtendremos un beneficio anual de 3.565.295,50 €.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

IV. ESTUDIO ECONÓMICO

ESTUDIO ECONÓMICO

IV. Estudio económico

Uno de los factores más importantes de un proyecto es el estudio económico ya que además de conocer en qué consiste el proyecto (en este caso el compostaje), debemos saber si podemos permitirnoslo a nivel económico. En este apartado se van a evaluar económicamente todos los gastos, desde los materiales y la maquinaria hasta los consumos de electricidad, combustible... Además, también se tendrá en cuenta el personal necesario para realizar el proyecto y su salario en este estudio económico.

IV.1. Materiales.

IV.1.1. Plástico

El precio del plástico que se usa para preparar el terreno donde se instalarán las pilas es de 0,53 €/m² por lo que, si la finca debe ser de 13.154,51 m², para ocupar este espacio nos gastaríamos 6.971,89 €. La instalación de este plástico impermeable ayuda al transporte de los lixiviados y a que estos no penetren en el suelo provocando una contaminación de las aguas subterráneas.



Figura 39. Plástico impermeable.

IV. Estudio económico

IV.1.2. Canaleta lixiviados

Para el transporte de lixiviados desde las pilas hasta la balsa se requiere del uso de canaletas, se ha elegido una como la de la figura.

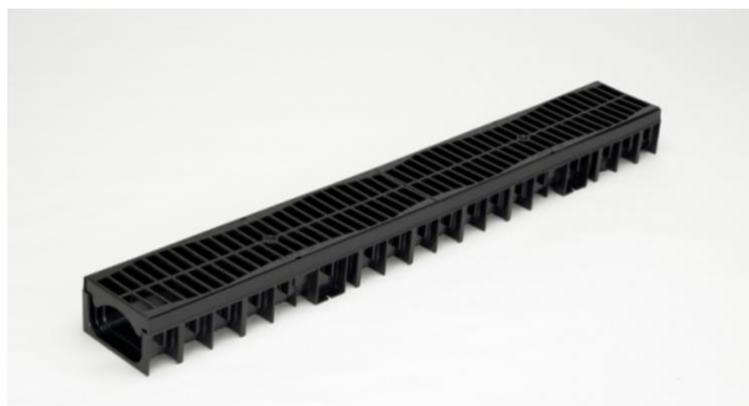


Figura 40. Canaleta lixiviados.

La canaleta consta también de una rejilla, ambas están fabricadas en polietileno de alta densidad. Tiene una gran resistencia a los impactos y cambios de temperatura así como también una gran resistencia química: se puede usar para el drenaje de líquidos abrasivos. Tanto el canal como la rejilla son fabricadas conforme a la norma EN 1433 1000/50.

Dimensiones externas: 1000 x 135 x 80 mm.

Dimensiones internas: 1000 x 100 x 50 mm.

Peso: 1,05 kg.

Altura aleta: 20 mm.

El precio de esta canaleta es de 21,97 €/m, si suponemos que la balsa se encuentra a unos 30 metros el precio total sería de 659,1 €.

IV.2. Adecuación del terreno.

IV.2.1. Terreno

Con la aplicación de Google Earth se ha medido el terreno que se había elegido antes de saber cuánto ocuparían las pilas y aproximadamente el área es de 25.000

IV. Estudio económico

m² de los cuales unos 14.000 serán para las pilas de compostaje y el resto se empleará para la nave, caminos, la balsa de lixiviados.

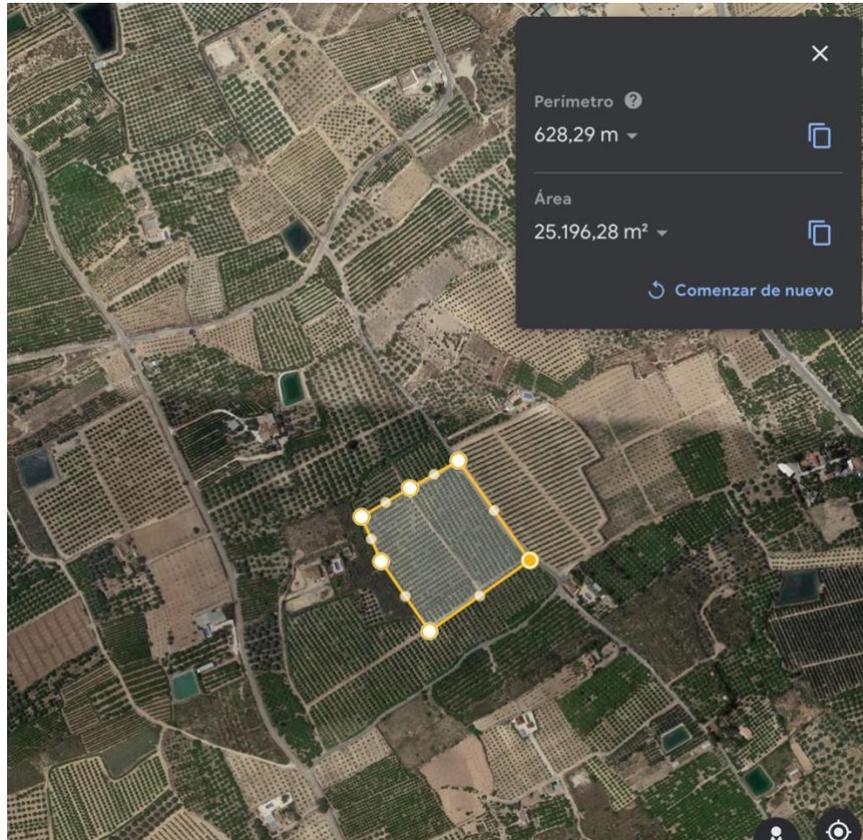


Figura 41. Medidas terreno.

Respecto al valor del terreno, el precio de un solar en Orihuela es de 55 €/m². Por tanto, estamos hablando de un terreno por valor de 1.375.000 €.

IV.2.2. Cercado

Una malla de simple torsión, que es el vallado estándar de parcelas, con una altura de 2 m de alto cuesta 3,62 €/m por lo que si se necesitan vallar 25.000 m² y suponiendo que es un terreno cuadrado cuyos lados miden 158,11 m el precio del cercado es de 572,35 €.

IV. Estudio económico



Figura 42. Cercado.

IV.2.3. Apertura de caminos

Hacer un camino para acceso de vehículos a la planta tiene un coste de 33.000 €, siendo este camino de unos 1.000 m².

IV.2.4. Nivelado

El precio de nivelación del terreno y de la parcela tiene dos costes distintos, para el nivelado con pendiente y arcilla el precio es de 18 €/m² y el precio del resto de la parcela, que no requiere de arcilla ni de pendiente es de 9 €/m². Se ha tomado esta elección de precio por que en la página de referencia indica que el rango de precio es de entre 8 y 20 €/m², por tanto, se ha tomado un valor más bajo para el nivelado de la parcela donde no se requiere arcilla ni pendiente y para el nivelado referente al terreno de las pilas de compostaje un precio más alto.

IV. Estudio económico

Terreno	Área (m ²)	€/m ²	Precio (€)
Arcilla + pendiente	15.000	18	270.000
Sin arcilla ni pendiente	10.000	9	90.000
Total (€)			360.000

Tabla 10. Nivelado.

IV.2.5. Pavimentado

El precio del asfalto para pavimentar un terreno es de entre 8 y 24 €/m² ya que requiere de un pavimento firme y duradero. Teniendo 25.000 m² de parcela el precio de su pavimentación es de 600.000 €, habiendo escogido un precio de 24 €/m² (el más caro respecto a este rango) de este modo nos aseguramos unos gastos de inversión.

IV.2.6. Nave industrial

Una nave industrial de estructura de hormigón tiene un precio de entre 260 y 450 €/m². Nuestra nave tiene que ser de unos 6.000 m² para poder tener el espacio suficiente para los fosos, las distintas operaciones que se van a llevar a cabo como los triajes y para las diferentes estancias como el laboratorio. Por lo que si estimamos un precio de 370 €/m² la construcción de la nave industrial tiene un coste de 2.220.000 €.

IV.2.7. Balsa

El precio medio de la construcción de una balsa estándar es de 120 €/m² aproximadamente, si estimamos que la balsa podría ser de unos 150 m² entonces el precio de nuestra balsa sería de 18.000 €.

IV.3. Maquinaria.

IV.3.1. Volteadora

La volteadora BACKHUS A45 destaca en su tecnología diésel de bajo consumo (7 L/h). Además, el motor que incorpora cumple con todas las normativas de emisiones actuales.

Como ya se comentó en el apartado de aireación debido a la elección de esta máquina las pilas tienen la limitación de las dimensiones de la volteadora. El precio de esta volteadora es de 30.000 €.

IV.3.2. Criba tambor y cribadora

La criba tambor encargada de la separación mecánica y triturado consiste en un doble tambor que permite el cribado de 2 fracciones. Las ventajas son: resultados efectivos de las pruebas de detección, la mayor movilidad posible debido a las dimensiones compactas y el bajo peso. Además, es muy adecuado para los residuos.

La cribadora que se encargará de la separación granulométrica del producto tiene la función de separar el flujo en dos corrientes.

En esta fase las partes individuales se comportan de manera diferente. Las partes que tienen tamaños menores que el diámetro de los orificios de la rejilla caen hacia la parte inferior de la máquina, las partes que tienen un tamaño mayor que el diámetro de los orificios de la rejilla avanzan hacia la parte superior de la máquina, como resultado del movimiento de rotación, en la dirección de salida y caen en la tolva de descarga, equipada para grandes fracciones.

Por lo tanto, dos flujos se generan: el flujo abajo-criba (producto maduro "compost") y el flujo sobre-criba (producto no maduro).

El precio de la cribadora es de 4.258,02 € mientras que el precio de la criba tambor es de 12.697,88 €

IV. Estudio económico

IV.3.3. Cargadora

La máquina cargadora con una pala capaz de coger hasta 2,5 m³ y un motor diésel de bajo consumo de hasta 5 velocidades está valorada en 35.000 €, además el consumo de gasoil tiene una media de 13,38 L/h con esto podemos saber cuánto dinero gastaremos al año de combustible respecto a esta máquina.

IV.3.4. Conveyor

El conveyor recorrerá la planta desde la descarga del camión hasta el almacenamiento de la materia orgánica pasando por los dos triajes. Esto es un recorrido aproximado de 18 metros por lo que así definimos la largura de la cinta. Los parámetros técnicos del conveyor elegido se detallan en la siguiente tabla.

Ancho correa (mm)	Longitud(m)/potencia (kW)	Velocidad de la cinta (m/s)	Capacidad (t/h)
1000	10 - 20/ 7 - 5	1 - 2	435 - 853

Tabla 11. Parámetros técnicos conveyor.

Viendo los valores de la tabla nos quedaremos con los referentes a la largura de 20 metros de conveyor, por tanto, el precio es de 2.285,62 €.

IV. Estudio económico



Figura 43. Conveydor.

IV.3.5. Grúa transporte

La grúa puente industrial para transportar los residuos del foso hasta el conveydor tiene una capacidad de 25 toneladas y el precio es de 235.520,19 €. Las características de esta se muestran a continuación en la tabla.

Volumen de agarre (m ³)	18
Span (m)	10,5
Altura de elevación (m)	20
Velocidad de elevación (m/min)	50
Velocidad (m/min)	80
Fuente de alimentación	220 V - 480 V 50/60 Hz

Tabla 12. Características grúa transporte.

IV. Estudio económico



Figura 44. Grúa transporte.

IV.3.6. Bomba

La bomba ZUWA VORTEX 300 NIRO, 2.850 min^{-1} , 400 V, sumergible para aguas residuales de acero inoxidable con un caudal de 1.120 L/min se colocará en la balsa para lixiviados y desde ahí los conducirá a la unidad de tratamiento físico-químico-biológico o fosos de recogida de lixiviados.

Esta bomba tiene un precio de 2.238,35 €.

IV.3.7. Báscula

Será necesario una báscula puente para pesar los camiones y así poder tener un control de las toneladas diarias que llegan a la planta. La báscula elegida es de ANAPESING, es el modelo DH4SS/4 cuya capacidad es de 30 toneladas y tiene una resolución de 10 kg.

Las dimensiones de la báscula son las siguientes: $4.000 \times 3.300 \times 400 \text{ mm}$.

El precio de esta báscula es de unos 15.000 €.

IV. Estudio económico



Figura 45. Báscula camión.

Para tener un control de lo que llega al conveyor se pretende instalar básculas en el conveyor, de esta forma tendremos un seguimiento continuo del pesaje.



Figura 46. Control del pesaje en el conveyor.

Estos rodillos son de fácil instalación y funciona para un amplio rango de producción, desde 25 hasta 2.000 t/h. Estos medidores se instalarán en la cinta transportadora en la base sólida del conveyor y pasando la cinta por encima de ellos. En la siguiente imagen se observa mejor esta instalación.

IV. Estudio económico



Figura 47. Instalación de los rodillos en el conveyor.

El precio de estos rodillos, así como su instalación para llevar un pesaje continuo en la cinta transportadora es de aproximadamente 30.000 €.

IV.3.8. Equipos de análisis

El GLP 21+ es el pH-metro de laboratorio completo, con resolución seleccionable entre 0,1, 0,01 y 0,001 pH.



Figura 48. pHmetro.

El conductímetro tiene una resolución de 0,01 mS/cm y 0,1 g/L. El rango de medición es de: 0,00 a 19,99 mS/cm y de 0,00 a 0,01 g/L. Este conductímetro está indicado para la medición directa sobre el terreno y es específico para el suelo o el compost y, además, funciona mediante una pila de 9 V.

IV. Estudio económico

Equipo	Cantidad	Precio total (€)
pH metro GLP 21	1	642
Conductímetro HI993310	1	739,43
Termómetro* (sonda de 1,5 m penetración)	3	352,11

Tabla 13. Precio equipos análisis.

El termómetro (modelo IAHI766TR3) es un termopar tipo-K diseñado para medir la temperatura en el compost y sustratos con dos rangos de medición: entre -50 y 199,99 °C y entre 200 y 1350 °C. Tiene una resolución de 0,1 °C (hasta 199,9 °C) y de 1°C (resto), este instrumento ofrece lecturas precisas.

IV.3.9. Ensacadora

La ensacadora de modelo SXFB-2 tiene un precio de 4.288,97 €, en la siguiente tabla se especifican algunas características técnicas de esta.

Material de forma	Velocidad embalaje (s/saco)	Peso embalaje (kg/saco)	Error permisible	Poder (kW)
En polvo/polvo en gránulos	10 - 12	5 - 50	0,1%	2,2

Tabla 14. Características ensacadora.

IV.3.10. Transpaleta manual

IV. Estudio económico

La transpaleta manual (BASIC HPT D20) con la que se cargarán los camiones con los palets tiene un peso propio de 64 kg y es capaz de cargar hasta 2 toneladas.

En la siguiente tabla se destacan otras características técnicas de esta transpaleta.

Longitud horquilla (mm)	1.150
Material volante	Nylon
Diámetro volante (mm)	200
Diámetro rodillo horquilla (mm)	80
Ancho total (mm)	540
Zona de elevación (mm)	85 - 200
Longitud total (mm)	1.521
Tope de dirección	210 °
Velocidad descenso con / sin carga (m/s)	0,09 / 0,02

Tabla 15. Características transpaleta manual.

Esta máquina tiene un precio de 347,30 €.

IV. Estudio económico

IV.4. Gastos.

IV.4.1. Electricidad

Los costes de electricidad de los aparatos se resumen en una tabla donde se verá todo más claro y resumido.

INSTRUMENTACIÓN/ MAQUINARIA	W	HORAS	CANTIDAD	€/AÑO
ILUMINACIÓN	60	24	100	13.507,92
PHMETRO	80	6	1	45,03
BÁSCULA CONVEYOR	1.000	24	1	2.251,32
BÁSCULA CAMIONES	200	3	1	56,28
CONVEYOR	1.000	18	1	1.688,49
BOMBA	2.200	8	1	1.650,97
CRIBADORA Y CRIBA TAMBOR	5.500	5	2	5.159,27
GRÚA	1.500	10	1	1.407,07
ENSACADORA	2.200	5	1	1.031,85
TOTAL (€)				26.798,21

Tabla 16. Gastos de electricidad.

IV. Estudio económico

IV.4.2. Personal

Para el correcto funcionamiento de la planta de compostaje se ha decidido que debe haber un técnico especializado que controle la correcta ejecución de todo el proceso. Por debajo de este, se encuentra: una persona responsable de los 2 triajes y un técnico responsable del seguimiento de los análisis necesarios para controlar los parámetros que intervienen en este proyecto.

A cargo de la persona responsable de los triajes se encontrarán otros 20 operarios: usarán la mezcladora cuando sea necesario, se encargarán de transportar los residuos mediante la pala cargadora y realizarán el triaje manual.

El salario anual de todos los trabajadores se detalla en la siguiente tabla.

PERSONAL	SALARIO ANUAL (€/AÑO)
TÉCNICO ESPECIALIZADO EN EL PROCESO	32.000
OPERARIO	25.000
TÉCNICO ANALISTA	30.000
RESPONSABLE TRIAJES	28.000

Tabla 17. Resumen salario anual del personal.

Para saber el coste anual del personal total se deben realizar 3 plantillas ya que debe haber 3 turnos de personal. El resumen del coste anual total de personal se detalla en la siguiente tabla.

IV. Estudio económico

PERSONAL	SALARIO ANUAL (€/AÑO)	PERSONA 1 TURNO	PLANTILLA	COSTE TOTAL ANUAL (€)
TÉCNICO ESPECIALIZADO EN EL PROCESO	32.000	1	3	96.000
OPERARIO	25.000	20	60	1.500.000
TÉCNICO ANALISTA	30.000	1	3	90.000
RESPONSABLE TRIAJES	28.000	1	3	84.000
COSTE TOTAL (€)				1.770.000

Tabla 18. Coste anual personal.

IV.4.3. Combustible

IV.4.3.1. Volteadora

La volteadora BACKHUS A 45 tiene un bajo consumo de combustible de aproximadamente 7 L/h y como esta máquina voltea 3.000 m² /h, teniendo en cuenta el volumen de las pilas el coste anual de combustible respecto a la volteadora es de 93,64 €.

IV.4.3.2. Pala cargadora

El motor diésel de la cargadora de bajo consumo, con un consumo medio de 13,38 L/h, suponiendo va a trabajar 5 horas al día y que el precio del diésel es de 1,279 €/L sabemos que el coste anual de combustible respecto a las palas es de 31.231,26 €.

IV.5. Cálculos económicos.

Para acabar con este estudio económico se hace indispensable calcular el valor del VAN y la TIR ya que con el VAN podemos conocer cuanto se va a perder o ganar con esta idea de proyecto y con la TIR sabremos el porcentaje de esas ganancias o pérdidas.

IV.5.1. Cálculo del VAN

La fórmula para calcular el valor actual neto (VAN) se muestra a continuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (17)$$

Donde:

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t .

I_0 es la inversión realizada en el momento inicial ($t = 0$).

n es el número de periodos de tiempo.

k es el tiempo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión.

Como se observa en la ecuación 17 debemos saber la inversión que se va a hacer en el proyecto y esto es la compra de toda la maquinaria y materiales que antes se ha mencionado, el gasto de inversión inicial se resume en la siguiente tabla con el fin de poder visualizarlo más claramente.

IV. Estudio económico

MATERIAL/MAQUINARIA	PRECIO (€)
PLÁSTICO	6.971,89
CANALETA LIXIVIADOS	659,10
VOLTEADORA	30.000
CRIBA TAMBOR	12.697,88
CRIBADORA	4.258,02
CONVEYOR	2.285,62
BÁSCULA CAMIÓN	15.000
PHMETRO	642
CONDUCTÍMETRO	739,43
TERMÓMETROS	352,11
BALSA	18.000
TERRENO	1.375.000
CERCADO	572,35
CAMINOS	33.000
NIVELADO	360.000
PAVIMENTADO	600.000
NAVE	2.220.000
CARGADORA	350.000
GRÚA	235.520,19
CONTROL PESO CONVEYOR	30.000
BOMBA	2.238,35
ENSACADORA	4.288,97

IV. Estudio económico

TRANSPALETA	347,39
TOTAL	5.302.573,30

Tabla 19. Inversión inicial.

Finalmente, para realizar el cálculo del flujo de caja neto se ha realizado una resta entre los beneficios y los gastos anuales que son un total de 1.828.123,11 € entre los cuales tenemos la luz, el combustible y el salario de los operarios.

Con todo esto y sabiendo que el interés es de un 5% podemos hallar el VAN y saber si el proyecto merece la pena o no.

En la siguiente tabla se muestra el valor del VAN calculado.

T (AÑOS)	F _T (€/AÑO)	VAN
0	-5.302.573,30	
1	1.737.172,39	-3.648.123,41
2	1.737.172,39	-2.072.456,84
3	1.737.172,39	-571.822,02
4	1.737.172,39	857.354,00
5	1.737.172,39	2.218.474,02
6	1.737.172,39	3.514.778,81
7	1.737.172,39	4.749.354,79
8	1.737.172,39	5.925.141,44
9	1.737.172,39	7.044.938,25
10	1.737.172,39	8.111.411,40

Tabla 20. Cálculo VAN.

IV. Estudio económico

Como se observa en la tabla, el proyecto merece la pena ponerlo en práctica ya que el VAN sale un valor positivo en 4 años, lo que significa que se recuperará la inversión realizada en un principio y también se cubrirán los gastos anuales por lo que el proyecto generará beneficios en años posteriores, concretamente esto ocurrirá 8 años después de poner en marcha el proyecto ya que a partir de ese año se cubre completamente la inversión inicial del proyecto.

IV.5.2. Cálculo de la TIR

La fórmula para calcular la tasa interna de retorno (TIR) se muestra a continuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (18)$$

La ecuación es similar a la del VAN sustituyendo el interés por la TIR e igualando la ecuación a cero para poder despejar el valor de la TIR. Con esto obtenemos un valor de TIR de 12% respecto a los 4 años después de poner en práctica el proyecto lo cual indica que la tasa de rendimiento interno que obtenemos con este proyecto es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

V. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

IV. Conclusiones

V.1. CONCLUSIONES.

Con este proyecto se pretende conseguir un doble objetivo el cual es la valorización de la parte orgánica de los residuos urbanos que se recogen en la ciudad de Orihuela mediante el uso del compostaje consiguiendo así un producto de valor y calidad que puede ser usado como abono orgánico y, además, de esta forma evitar que estos residuos que pueden valorizarse acaben en vertederos. En España la mayoría de la basura generada acaba en los vertederos y como hemos visto en la pirámide de la jerarquía esta debe ser una última opción.

La cantidad de residuos que se van a recoger para ser tratados es de 47.255,95 toneladas anuales, de las cuales se van a tratar 20.029,76 toneladas de materia orgánica. El área necesaria para poder abastecer esta cantidad de materia orgánica anualmente es de unos 13.154,51 m² habiendo realizado un sobredimensionado para asegurarnos de que no falte espacio por si surge algún imprevisto.

En la selección de la ubicación se debieron tener en cuenta muchos factores como la dirección del viento, cercanía, accesibilidad, población... En un principio se eligió una parcela grande debido a su buena localización y a que no afectaría paisajísticamente ya que estaba apartado de núcleos de población grandes. Finalmente, sabiendo el área que se necesitaba para las pilas de compostaje se procedió a medir el terreno seleccionado y se observó que era un área apropiada para el proyecto ya que abastece con los 25.000 m² de terreno el área necesaria para las pilas de compostaje y para la instalación de una nave, una balsa para lixiviados...

Respecto al estudio económico se ha intentado ser lo más exacto posible sobre los precios y gastos. La inversión inicial que se debe hacer para llevar a cabo el proyecto, en la cual se incluye maquinaria, instrumentos analíticos y, la adecuación del terreno, así como la construcción de una nave, tiene un valor de 5.302.573,30 €. El flujo de caja neto anual es de 1.737.172,39 € en él están reflejados por un lado los gastos que comprenden 1.828.123,11 € entre los cuales se encuentran gastos como el combustible de las máquinas, electricidad y el salario de los trabajadores. Por otro lado, tenemos los beneficios que,

IV. Conclusiones

sabiendo que aproximadamente el 20% de la materia orgánica que se va a tratar se convertirá en compost y con la venta de éste obtendremos anualmente un beneficio de 3.565.295,50 €.

En el estudio económico también se han calculado dos herramientas de viabilidad y rentabilidad del proyecto indispensables para el desarrollo de este. El resultado del cálculo de estas dos herramientas es que a los 4 años de poner en práctica el proyecto ya se obtienen ingresos y la tasa de rendimiento interno que obtenemos con este proyecto a esos 4 años es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión. Podemos decir que a los 8 años se recuperará todo el dinero de la inversión inicial.

Finalmente, además de ser un proyecto viable económicamente se debería de llevar a cabo debido al beneficio ambiental que se causaría con él evitando que esta cantidad anual de residuos acabe en vertederos y con el producto que se obtiene evitar la utilización masiva de fertilizantes de origen químico.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

VI. APÈNDICES

APÈNDICES

IV. Apéndices

VI.1. REFERENCIAS.

- [1] Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado, núm. 181, de 29 de julio de 2011, pp 85650 a 85705.
- [2] OSSANDON, Charles Estay. Situación de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en España Y Gran Canaria. *Trabajo de Investigación: Doctorado en Economía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, 2008.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Cifras de población (CP) a 1 de enero de 2020, 2020.
- [4] DE ALBACETE, Ayuntamiento. Guía didáctica sobre Gestión de los Residuos Urbanos en Albacete. *Consultado en: http://www.albacete.es/es/por-temas/medio-ambiente/documentos/GUIA_RESIDUOS.pdf*, 2020.
- [5] YU, Guanghui; RAN, Wei; SHEN, Qirong. *Compost process and organic fertilizers application in China*. London: IntechOpen, 2016.
- [6] TORRES, Randall; ACOSTA, Álvaro; CHINCHILLA, Carlos. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Revista Palmas*, 2004, vol. 25, no especial, p. 377-387.
- [7] DE BENITO, Javier López. *España se encuentra por debajo de la media de residuos municipales generados por persona de la UE*, 2019. Energynews. <<https://www.energynews.es/residuos-municipales-por-persona-ue/>>

IV. Apéndices

- [8] IBERDROLA. *La basura, un negocio de doble filo en el tercer mundo*.
<<https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/tratamiento-basura>>
- [9] ORDAZ, Ana. *España genera un 13% más de basura de plásticos en dos años*, 2019. Eldiario.
<https://www.eldiario.es/sociedad/residuos_1_1235308.html>
- [10] SUNDBERG, Cecilia. *Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH*. 2005.
- [11] ARRIBAS, J. *5 herramientas para hacer compost*, 2014. Pisos.com.
<<https://www.pisos.com/aldia/5-herramientas-para-hacer-compost/52855/>>
- [12] CAYUELA, María Luz. *Producción industrial de compost ecológico a partir de residuos de almazara*. 2004. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- [13] PARITOSH, Kunwar, et al. Organic fraction of municipal solid waste: overview of treatment methodologies to enhance anaerobic biodegradability. *Frontiers in Energy Research*, 2018, vol. 6, p. 75.
- [14] EGGERSMANN GMBH. *Volteadora de pilas Backhus A 45*. Máquinas de reciclaje. <<https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/es/maquinas-de-reciclaje/volteadores-de-backhus/productos/volteadora-de-pilas-backhus-a-45/>>
- [15] RECICLARIO.COM.AR. *¿Cómo se hace un compost? Una guía para separar los residuos*.
<<http://reciclario.com.ar/home/compostables/como-se-hace-un-compost/>>

IV. Apéndices

- [16] INFOAGRO. *Termómetro profesional económico para compost y semisólidos con 2 canales.*
<https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=13024>
- [17] ALIBABA.COM. *Grúa aérea con gancho de agarre.*
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-sale-clamp-shell-grab-hook-magnet-overhead-crane-1600283523247.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.38ea5644xN4wW3>
- [18] GREENICE.COM. *Luminaria Led.*
<https://greenice.com/es/plafones-led-lineales/8125-luminaria-led-colgante-superficie-60w-7600lm-30-000h-wr-ll-6365-cw-8435402584711.html?currency=EUR&gclid=CjwKCAjw55-HBhAHEiwARMCsztg_q7zL5d6Uuzq-T4GpNng3GSsJ5IwJxqxCHnBDisniSsPh61nGN1hoCp-kQAvD_BwE>
- [19] PROFISHOP.ES. *Zuwa vortex 300 niro, bomba sumergible de aguas residuales de acero inoxidable.* <https://www.profishop.es/zuwa-vortex-300-niro-2850-min-1-400-v-bomba-sumergible-de-aguas-residuales-de-acero-inoxidable-caudal-1120-l-min-165026?number=ZU-377&gclid=CjwKCAjw55-HBhAHEiwARMCszv_bTlw17bNoCuscFoFqEGOZ3oyP85Jckk-kmuBWPs8OSEQitj9OzhoCUwcQAvD_BwE>
- [20] DIPUTACIÓN FORAL DE GIPUZKOA. *Manual para el compostaje individual.* Departamento para el Desarrollo Sostenible.
<https://hortanetajovesnet.files.wordpress.com/2014/04/manual_compostaje.pdf>

IV. Apéndices

- [21] ALIBABA.COM. *Criba tambor*.
<<https://spanish.alibaba.com/product-detail/garbage-recycling-machine-drum-screening-machine-for-compost-1600091767078.html>>
- [22] SEMBRALIATIENDA.ES. *Precio compost venta al por mayor*.
<<https://sembraliatienda.es/products/compost-pellet-fertiormont?variant=32844198477933>>
- [23] E-PALSA.COM. *Lámina polietileno*. <https://www.e-palsa.com/index.php?id_product=197&controller=product&id_lang=1>
- [24] LATIENDADEFONTANERIA.COM. *Canaleta con rejilla de PE*.
<<https://www.latiendadefontaneria.com/canaleta-rejilla-pe-hd-1000-50-1000-90.html>>
- [25] VALLAS-METALICAS.COM. *Malla rombiodal 2m. de alto*.
<<https://vallas-metalicas.com/malla-simple-torsion-precios/18-precio-malla-simple-torsion.html>>
- [26] HAZMEPRECIO.COM. *Presupuesto para hacer balsa*.
<<http://www.hazmeprecio.com/alicante/presupuesto-hacer-balsa-de-agua-para-riego>>
- [27] ALIBABA.COM. *Máquina giratoria de abono de fermentación de residuos*. <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/2-6-meter-organic-mushroom-waste-fermentation-compost-turner-machine-for-sale->

IV. Apéndices

62567601966.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.6aee7a18
Yp8fqY&s=p>

[28] ALIBABA.COM. *Tambor giratorio de tambor trómel separador.*
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/rotary-trommel-drum-screen-for-sand-separator-60742592189.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.362b56bcaeQBZQ>

[29] ALIBABA.COM. *Cargadora de ruedas de alta calidad.*
<<https://spanish.alibaba.com/product-detail/3-tons-5-tons-wheel-loader-62228251379.html>>

[30] ALIBABA.COM. *Cinta transportadora.*
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/6-meters-belt-conveyor-8-meters-belt-conveyor-movable-belt-conveyor-for-sale-60722029814.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4ae5797ezUTksH>

[31] ALIBABA.COM. *Cinta transportadora de alta eficiencia.*
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-efficiency-gravel-belt-conveyor-machine-1112443617.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4ae5797ezUTksH>

[32] ARCOELECTRONICA.ES. *Pesaje continuo cinta.*
<https://www.arcoelectronica.es/productos/pesaje-industrial/pesaje-continuo-cinta/?gclid=CjwKCAjw3MSHBhB3EiwAxcaEu8g6Y5jPyP5yIJmcJ1RpXc2Ka9-yrcpCL7qanfL7fOfmyLyfJOUP_BoCL2oQAvD_BwE>

IV. Apéndices

- [33] ANAPESING.ES. *Básculas puente para camiones*.
<<https://www.anapesing.es/basculas-industriales/basculas- puente-para-camiones>>
- [34] LETSLAB.ES. *pHmetro*. <https://www.letslab.es/ph-metro-glp-21.lab?gclid=CjwKCAjw3MSHBhB3EiwAxcaEu7NqFI46nfx0qeVSQ HDHMhv3Sd25QaUCZXU3NPUSIbBOR- gcWx_4ZhoCVyAQAvD_BwE>
- [35] INFOAGRO.COM. *Conductímetro para mediciones directas en suelo, sustrato o compost y regadío*.
<https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=5313&_hi_993310_conductivimetro_para_mediciones_directas_en_suelo_sustrato_o_compost_y_regadio_tienda_on_line#precios_modelos>
- [36] CRONOSHARE.COM. *¿Cuánto cuesta nivelar un terreno? Precios por m² en 2021*. <<https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/nivelar-terreno>>
- [37] CRONOSHARE.COM. *¿Cuánto cuesta asfaltar?*
<<https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/asfaltar>>
- [38] HABITISSIMO.ES. *Hacer camino: precio y presupuestos*.
<<https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-camino-de-hormigon-impreso>>
- [39] PROFISHOP. *Transpaleta manual BASIC*.
<https://www.jungheinrich-profishop.es/Transpaleta-manual-BASIC-longitud-de-horquilla-1150-mm-39255-161193/?gclid=Cj0KCQjw9O6HBhCrARIsADx5qCT50Lv51LBb6r1479V_17X0HB5IvA6bzEIuAlhLjrkS-e6wFNQTFVcaAoeaEALw_wcB&Shop=b2c&sd=true&wmc=pla&ef_id=Cj0KCQjw9O6HBhCrARIsADx5qCT50Lv51LBb6r1479V_17X0H>

IV. Apéndices

B5IvA6bzEIuAlhLjrKs-

e6wFNQTFVcaAoeaEALw_wcB:G:s&ts_kwcid=AL!8053!3!416566353

018!!!u!370936887503!!9246471011!91171567182>

[40]

ALIBABA.COM. *Máquina automática de embalaje de fertilizante*

orgánico. <<https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/25kg-per-bag-automatic-organic-fertilizer-1600207740091.html?s=p>>