



Universidad Autónoma de Barcelona

Programa Doctorado en Ciencias Ambientales



TESIS DOCTORAL

EVALUACION AMBIENTAL DE LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.), BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS EN LAS PALMAS GRAN CANARIA, ESPAÑA, MEDIANTE LA UTILIZACION DE LA METODOLOGIA DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV), 2007-2009



Doctorando: Willian Erik de León Cifuentes

Directoras: Dra. María Asunción Anton Vallejo

Dra. Gara Villalba Méndez

Programa Doctorado en Ciencias Ambientales

Departamento de Ingeniería Química

Grupo SosteniPrA

Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (ICTA)

Universidad Autónoma de Barcelona

Instituto de Recerca y Tecnología Agroalimentaria (IRTA)

BARCELONA, ESPAÑA JUNIO DEL 2009



Universidad Autónoma de Barcelona
Doctorado en Ciencias Ambientales

Dra. MARIA ASUNCION ANTON VALLEJO

DIRECTORA DE TESIS

INSTITUTO DE RECERCA Y TECNOLOGIA AGROALIMENTARIA

(IRTA) Y

Dra. GARA VILLALBA MENDEZ

DIRECTORA DE TESIS

**PROFESORA TITULAR INGENIERIA QUIMICA DEL INSTITUTO DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BARCELONA (ICTA, UAB)**

CERTIFICAN:

Que **Willian Erik de León Cifuentes**, Ingeniero Agrónomo, con Maestría en Gerencia de la Agricultura Sostenible y los Recursos Naturales, ha finalizado bajo nuestra dirección, en la Universidad Autónoma de Barcelona, el trabajo que lleva por título **Evaluación Ambiental de la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**, bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España, mediante la utilización de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), 2007-2009, expuesto en la presente memoria que constituye su tesis, para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales.

Y para que conste a los efectos oportunos, presentamos a la Escola de Postgrau y al Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona el trabajo citado firmando el presente certificado.

Dra. María Asunción Anton Vallejo

Dra. Gara Vellalba Médez

Bellaterra, Barcelona, 25 de Febrero 2009

INDICE GENERAL

CAPITULO I

No.	CONTENIDO	PAG.
	INDICE GENERAL.	i
	INDICE DE TABLAS.	vi
	INDICE DE FIGURAS.	ix
	INDICE DE GRAFICAS.	xi
	ABREVIACIONES Y ACRONIMOS.	xii
	RESUMEN.	1
	SUMMARY.	3
	RESUM.	5
	AGRADECIMIENTOS.	7
	1 INTRODUCCION, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.	10
	1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	10
	1.2 ANTECEDENTES.	12
	1.2.1 HISTORIA DE LA PRODUCCION DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS.	12
	1.2.2 INVERNADEROS.	13
	1.2.2.1 INVERNADERO PARRAL.	14
	a) Descripción del Invernadero tipo parral.	14
	b) Dimensiones del Invernadero tipo parral.	15
	c) Tipología estructural.	15
	1.2.2.2 INVERNADERO MULTITUNEL.	16
	a) Ventajas.	16
	b) Desventajas.	16
	1.2.3 AREA CULTIVADA EN CONDICIONES PROTEGIDAS.	17
	1.2.4 DESCRIPCION DEL CULTIVO DE TOMATE.	18
	1.2.4.1 ORIGEN.	18
	1.2.4.2 TAXONOMIA.	19
	1.2.4.3 MORFOLOGIA.	19
	1.2.5 IMPORTANCIA ECONOMICA DEL CULTIVO DE TOMATE EN LAS ISLAS CANARIAS.	22
	1.2.6 EL CULTIVO HIDROPONICO.	24
	1.2.7 HISTORIA GENERAL DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).	25
	1.2.7.1. TRABAJOS REALIZADOS EN AGRICULTURA APLICANDO LA METODOLOGIA DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).	31
	1.2.7.2. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA EN ESPAÑA.	32
	1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS.	33
	1.3.1 PRINCIPAL.	33
	1.3.2 GENERAL.	33
	1.3.3 ESPECIFICOS.	33
	1.3.4 HIPOTESIS.	34

CAPITULO II

2 METODOLOGIA DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).	34
2.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.	34
2.1.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.	37
2.1.2 INVENTARIO (ICV).	37
2.1.3 ANÁLISIS DEL IMPACTO (AICV).	38
2.1.3.1 LOS ELEMENTOS CONSIDERADOS OBLIGATORIOS EN EL AICV.	39
a) Selección de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos.	39
b) Clasificación.	39
c) Caracterización.	39
2.1.3.2 LOS ELEMENTOS CONSIDERADOS OPCIONALES EN EL AICV, PUEDEN SER UTILIZADOS DEPENDIENDO DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO DE ACV.	39
a) Normalización.	39
b) Agrupación.	39
c) Ponderación.	39
d) Análisis de calidad de los datos.	40
2.1.3.3 LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO CONSIDERADAS.	40
a) Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA)	41
b) Potencial de Calentamiento Global (PCG).	41
c) Potencial de Destrucción del Ozono Estratosférico (PDOE).	41
d) Toxicidad.	41
e) Potencial de Oxidación Fotoquímica (POF).	42
f) Potencial de Acidificación (PA)	42
g) Potencial de Eutrofización (PE).	43
2.1.4 INTERPRETACIÓN DEL ACV.	43

CAPITULO III

3 APLICACIÓN ACV INVERNADEROS CANARIOS.	44
3.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.	44
3.1.1 FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS.	44
3.1.2 UNIDAD FUNCIONAL.	46
3.1.3 LÍMITES DE LOS SISTEMAS.	46
3.1.3.1 LÍMITES GEOGRÁFICOS.	47
3.1.3.2 LÍMITES TEMPORALES.	47
3.1.4 REGLAS DE ASIGNACIÓN DE CARGAS AMBIENTALES.	47
3.1.5 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS DATOS UTILIZADOS.	47
3.1.5.1 LABORES DE CAMPO.	48
3.1.5.2 INVERNADEROS.	48
3.1.5.3 DATOS LOCALES.	48
3.1.5.4 DATOS DE PROCEDENCIA REGIONAL.	48

3.2 INVENTARIO.	50
3.2.1 INFRAESTRUCTURA, MONTAJE DEL INVERNADERO.	50
3.2.1.1 ESTRUCTURA.	50
A) Estructura de invernadero tipo parral. (<i>Raspa y amagado Yeoward</i>).	50
B) Estructura invernadero multitunel.	56
3.2.1.2 EQUIPO AUXILIAR.	60
3.2.2 PODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE (<i>Licopersicun sculentum</i> MILL), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.	64
3.2.2.1 GESTIÓN Y MANEJO DEL INVERNADERO DURANTE LA PRODUCCIÓN.	64
A) Prácticas culturales.	65
B) Ventilación.	67
C) Empleo de maquinaria.	68
D) Cosecha.	71
3.2.2.2 PRODUCCION DE FERTILIZANTES.	73
3.2.2.3 CONTROL FITOSANITARIO (PESTICIDAS).	76
3.2.3 TRANSPORTE UTILIZADO.	81
3.2.4 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DEL INVERNADERO PARRAL.	84
3.2.5 GESTION DE LOS RESIDUOS DEL INVERNADERO MULTITUNEL.	85

CAPITULO IV

4 ANALISIS DE IMPACTOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.	86
4.1 INFRAESTRUCTURA DEL INVERNADERO PARRAL (ESTRUCTURA Y EQUIPO AUXILIAR).	86
4.2 INFRAESTRUCTURA DEL INVERNADERO MULTITUNEL (ESTRUCTURA Y EQUIPO AUXILIAR).	90
4.3 RATIO PARA LAS DIFERENTES CATEGORIAS DE IMPACTO ENTRE INVERNADERO PARRAL E INVERNADERO MULTITUNEL ATENDIENDO UNICAMENTE AL TIPO DE ESTRUCTURA.	93
4.3.1 CARGAS AMBIENTALES PRODUCIDAS POR LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCION DE LOS INVERNADEROS PARRAL Y MULTITUNEL.	95
4.4 PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE.	98
4.4.1 CARGAS AMBIENTALES GENERADAS POR EL USO DE LA MAQUINARIA AGRICOLA, EN EL PROCESO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE.	98
4.4.2 CARGAS AMBIENTALES GENERADAS POR EL USO DE FERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE.	104
4.4.3 CARGAS AMBIENTALES ASOCIADAS AL TRANSPORTE MARÍTIMO Y TERRESTRE USADO PARA EL TRASLADO DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN TODO EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE TOMATE EN LAS PALMAS GRAN CANARIA, ESPAÑA, EN EL INVERNADERO PARRAL.	108
4.4.4 CARGAS ASOCIADAS A LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE.	111

CAPITULO V

5 EVALUACION DE TRES TIPOS DE SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE, BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS, EN LAS PALMAS GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS, ESPAÑA.	117
5.1 INTRODUCCION.	117
5.2 DESCRIPCION DEL SUSTRATO FIBRA DE COCO (<i>Coconut fiber</i>).	117
5.2.1 ORIGEN.	117
5.2.2 PROCESO DE FABRICACION.	118
5.2.3 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS	118
5.2.4 PRESENTACION.	119
a) Ladrillo deshidratado y altamente comprimido.	119
b) Bala prensada.	119
c) y saco de cultivo.	119
5.2.4 RESIDUO.	120
5.3 DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO LANA DE ROCA (<i>Rock wool</i>).	120
5.3.1 ORIGEN.	120
5.3.2 PROCESO DE FABRICACION.	120
5.3.3 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.	121
5.3.4 PRESENTACION.	122
5.3.4.1 Tablas.	122
5.3.4.2 Tacos.	122
5.3.4.3 Bloques	122
5.3.4.4 Paneles.	122
5.3.4.5 Filtros.	122
5.3.4.6 Mantas.	122
5.3.4.7 Coquillas.	122
5.3.4.8 Borrás.	122
5.3.5 RESIDUO.	122
5.4 DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO PICÓN (Tierra Volcánica).	123
5.4.1 ORIGEN.	123
5.4.2 PROCESO DE FABRICACION.	123
5.4.3 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.	124
5.4.4 PRESENTACION.	124
5.4.5 RESIDUO.	125
5.5 METODOLOGIA.	125
5.5.1 METODOLOGÍA UTILIZADA ACV. ISO 14,040 (2006).	125
5.5.1.1 Definición del objetivo y el alcance del estudio.	125
5.5.1.2 Ambito institucional.	125
5.5.1.3 Area temática. Horticultura y Medio Ambiente	126
5.5.1.4 Unidad Funcional.	126
5.5.1.5 Localización.	126
5.5.1.6 Datos utilizados.	126
5.5.1.7 Límites del sistema.	126
5.5.1.8 Categorías de impacto.	127

5.6 INVENTARIO.	127
5.6.1 TIPO DE SUSTRATOS.	127
5.6.2 TRANSPORTE.	128
5.6.2.1 Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato lana de roca de Dinamarca a las Palmas Gran Canaria.	128
5.6.2.2 Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato fibra de coco de Filipinas a las Palmas Gran Canaria.	128
5.6.2.3 Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato Picón en el área de la Isla.	128
5.7 RESULTADOS Y DISCUSION.	129

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES.	145
NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION.	150
REVISION BIBLIOGRAFICA.	151
ANEXOS.	154
Poster presentation in Zurich November 2008. Life cycle Assessment applied to tomato production in the Canary Islands.	154
Poster presentation in Japan December 2008. Life cycle Assessment applied to tomato production in the Canary Islands.	155
Instituciones participantes en la Investigación.	160

INDICE DE TABLAS

No.	CONTENIDO	PAG
1	Principales países productores de tomate a nivel mundial en toneladas.	10
2	Superficie cubierta con algún tipo de protección a nivel mundial.	17
3	Tipos de invernaderos más utilizados en las islas Canarias y superficie cubierta en hectáreas 2004.	18
4	Variedades de tomate utilizadas en la campaña 2002/2003 en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.	21
5	Evolución del rendimiento de la producción del cultivo de tomate (Kg./Ha.), en las Islas Canarias, España.	22
6	Principales países Europeos a donde se exporta la producción del cultivo de tomate Canario.	23
7	Evolución histórica del desarrollo de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, en el ámbito mundial (ACV).	25
8	Desarrollo de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), en la producción agrícola.	28
9	Categorías de impacto ambiental e indicador de flujo considerados y las unidades de medida de cada categoría.	40
10	Calidad de los datos utilizados en los Inventario del Ciclo de Vida (ICV).	49
11	Características y dimensiones del invernadero parral construido en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España.	50
12	Dimensiones y características de los tubos de acero utilizados en la construcción del invernadero parral en la comunidad de Vecindario, las Palmas, Gran Canaria, España.	51
13	Material utilizado en la construcción de la estructura del invernadero parral por Unidad Funcional, comunidad de Vecindario de las Palmas, Gran Canaria, España.	52
14	Datos de la maquinaria utilizada en la construcción del invernadero y cargas por Unidad Funcional (UF.)	53
15	Maquinaria utilizada para la fabricación del invernadero en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.	54
16	Energía utilizada por la hormigonera y la taladradora en las operaciones de construcción de la infraestructura del invernadero en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.	54
17	Resumen de la cantidad de material total requerido, por la maquinaria, por unidad de superficie y por unidad funcional.	55
18	Características y dimensiones del invernadero multitúnel construido en las Palmas, Gran Canaria, España.	57
19	Dimensiones y características de los tubos de acero utilizados en la construcción del invernadero multitúnel, en las Palmas, Gran Canaria, España.	58
20	Materiales utilizados en la construcción de la estructura del invernadero multitúnel por Unidad Funcional, en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.	59
21	Material inventariado por unidad funcional (Kg/m ²) en el sistema equipo auxiliar del invernadero parral.	60
22	Propiedades físicas del sustrato picón, utilizado en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.	61
23	Material inventariado por unidad funcional (Kg/m ²) en el sistema equipo auxiliar	62

	del invernadero multitúnel.	
24	Propiedades del sustrato lana de roca (<i>Rock wool</i>), utilizado en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España.	63
25	Cantidad de agua aplicada en la producción del cultivo de tomate en los dos invernaderos parral y multitúnel.	63
26	Horas de funcionamiento de la bomba de riego y el consumo de energía, en los dos tipos de invernaderos.	64
27	Tipo y tiempo de empleo de la maquinaria agrícola utilizada en las operaciones culturales, en la producción del cultivo de tomate en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canarias, Islas Canarias, España.	68
28	Horas de utilización de la maquinaria agrícola en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.	69
29	Factores para el cálculo del suplemento de material en el mantenimiento del tractor utilizado en las prácticas agrícolas en la producción del cultivo de tomate.	70
30	Factores para el cálculo del suplemento de reparación de la maquinaria Agrícola, utilizada en la producción del cultivo de tomate.	70
31	Combustible utilizado por la maquinaria en las operaciones culturales realizadas en el cultivo de tomate, por unidad de superficie y por unidad funcional.	70
32	Energía utilizada por la pulverizadora en las operaciones culturales realizadas en el cultivo de tomate.	71
33	Resumen de la cantidad de material total requerido, por la maquinaria, para realizar las operaciones culturales por hectárea y por kilogramo de tomate.	71
34	Producción comercial y destino de la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas, Gran Canaria, España.	72
35	Tipo de fertilizante y dosis utilizados en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas, Gran Canaria, España.	73
36	Diferentes clases de fertilizantes aplicados en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.	74
37	Emisiones de los fertilizantes, emitidas al aire en la producción del cultivo de tomates bajo condiciones protegidas, en las Palmas, España.	76
38	Tipos de pesticidas utilizados en el control de plagas y enfermedades en la producción del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas, en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, Islas Canarias, España.	78
39	Entradas y salidas en la producción del cultivo de tomate.	80
40	Tipos de transporte, distancias recorridas y medios de transporte utilizado para trasladar todos los materiales para la producción del cultivo de tomate en las Islas Canarias, España.	81
41	Cantidad de materiales utilizado en la construcción de los invernaderos en kilogramos y toneladas por kilogramo de productos transportados para la producción del cultivo de tomate. Invernadero parral.	82
42	Cantidad de materiales utilizado en la construcción de los invernaderos en kilogramos y toneladas por kilogramo de productos transportados para la producción del cultivo de tomate. Invernadero multitúnel.	83
43	Cantidad de materiales transportados hasta el vertedero, después de su vida útil en el invernadero parral de 12 naves.	84
44	Cantidad de materiales transportados hasta el vertedero, después de su vida útil en el invernadero multitúnel de 18 naves.	85
45	Valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas estructura del invernadero parral.	88

46	Valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas estructura del invernadero multitunel.	92
47	Valores totales de las categorías y contribución de las emisiones más importantes generadas por la maquinaria utilizada para la construcción de los invernaderos parral y multitunel.	96
48	Valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes generadas por la maquinaria agrícola en producción del cultivo de tomate.	99
49	Valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes generadas por el tractor agrícola en producción del cultivo de tomate.	102
50	Valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas fertilizantes utilizados en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.	107
51	Valores totales de la categoría y porcentaje las cargas ambientales asociadas al transporte marítimo y terrestre utilizado para el traslado de los tifarades materiales para la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.	110
52	Valores totales por categoría y contribución de las emisiones más importantes de los residuos generados en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.	112
53	Valores totales por categoría y contribución de las emisiones más importantes de residuos generados en la producción de tomate, invernadero multitunel.	115
54	Principales características de la fibra de coco.	119
55	Principales características de la lana de roca (<i>Rock wool</i>).	121
56	Principales características del sustrato picón.	124
57	Características de los tres tipos de sustratos por unidad funcional.	128
58	Valores absolutos del sustrato picón trasladado a diferentes distancias y el sustrato lana de roca (<i>Rock wool</i>), por categoría de impacto.	142
59	Ratios encontrados entre el sustrato lana de roca y el sustrato picón trasladado a diferentes distancias.	143
	ANEXOS	
60	Cargas ambientales generadas por la producción mas el traslado de tres tipos de sustratos.	157
61	Porcentajes de cada sustancia que producen las emisiones por tipo de sustrato por Categoría de impacto.	157
62	Cargas ambientales generadas en la fabricación y transporte de tres tipos de sustratos, en unidades equivalentes.	158

INDICE DE FIGURAS

No.	CONTENIDO	PAG
1	Estructura metodológica del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).	35
2	Elementos obligatorios y opcionales en el (AICV), Análisis del Inventario del Ciclo de Vida.	38
3	Diagrama que esquematiza los sistemas y subsistemas considerados en la evaluación ambiental del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas, en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España.	45
4	Cargas ambientales del montaje del invernadero parral, en las Palmas, Islas Canarias, España.	87
5	Cargas ambientales asociadas al montaje del invernadero multitunel, en las Palmas, Islas Canarias, España.	91
6	Ratios para las diferentes categorías de impacto entre los invernaderos parra y multitunel atendiendo únicamente al tipo de estructura.	93
7	Comparación de las cargas ambientales generadas en el montaje de los invernaderos multitunel y parral, en las Palmas, Gran Canaria, España.	94
8	Cargas ambientales generadas por la maquinaria utilizada en la construcción de invernadero.	95
9	Cargas ambientales generadas por la maquinaria agrícola utilizada en las prácticas culturales en la producción del cultivo de tomate.	98
10	Cargas ambientales generadas por la maquinaria agrícola, utilizada en las prácticas culturales en la producción del cultivo de tomate.	101
11	Comparación de maquinaria utilizada en la construcción del invernadero y la utilizada en las operaciones culturales.	103
12	Cargas ambientales producidas por los fertilizantes aplicados en la producción del cultivo de tomate, en el invernadero parral, en las Palmas, Gran Canarias, España.	104
13	Transporte de diferentes tipos de elementos usados en la producción del cultivo de tomate.	108
14	Cargas asociadas a los residuos generados en el invernadero parral, trasladados al vertedero.	111
15	Cargas asociadas a los residuos generados en el invernadero multitunel, trasladados al vertedero	114
16	Comparación de tres tipos de sustratos.	129
17	Porcentajes de las cargas ambientales generadas por la producción del sustrato Lana de roca y el transporte terrestre.	130
18	Porcentajes de las cargas ambientales generadas por la producción del sustrato Picón y el transporte terrestre.	130
19	Porcentajes de las cargas ambientales generadas por el transporte terrestre del sustrato Fibra de Coco.	131
20	Comparación de tres tipos de sustratos, en la categoría de impacto de Agotamiento de los Recursos Abióticos.	131
21	Comparación de tres tipos de sustratos, en la categoría de impacto del Potencial del Calentamiento Global.	133
22	Comparación de sustratos, en la categoría de impacto de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico.	134

23	Comparación de tres tipos de sustratos, en la categoría de impacto del Potencial de Toxicidad Humana.	135
24	Comparación de sustratos, en la categoría de impacto de Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática.	136
25	Comparación de tres tipos de sustratos, en la categoría de impacto del Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática.	137
26	Comparación de sustratos, en la categoría de impacto de Potencial Eco Toxicidad Terrestre.	138
27	Comparación de sustratos, en la categoría de impacto de Potencial Oxidación Fotoquímica.	139
28	Comparación de tres sustratos, en la categoría de impacto de Potencial de Acidificación.	139
29	Comparación de tres sustratos, en la categoría de impacto de Potencial de Eutrofización.	140
30	Comparación del sustrato Picón, transportado a diferentes distancias versus lana de roca.	141
31	Comparación del sustrato picón y lana de roca, utilizados en la producción del cultivo de tomate, en las Palmas, Gran Canaria, España.	142

INDICE DE GRAFICAS

No.	CONTENIDO	PAG
1	Vista panorámica del invernadero Parral.	14
2	Vista panorámica del invernadero Multitunel.	16
3	Vista panorámica de Invernaderos en las Palmas, Gran Canaria, España.	18
4	Vista aérea de los invernaderos tipo Parral.	18
5	Cultivo de tomate en invernadero tipo Multitunel.	19
6	Invernadero tipo parral utilizado en la producción del cultivo de tomate, en las Palmas Gran Canaria, España.	50
7	Residuos de acero.	56
8	Residuos de PVC.	56
9	Vista por fuera y adentro de un invernadero multitunel, utilizado en la producción del cultivo de tomate en Vecindario Palmas Gran Canaria, España.	57
10	Desarrollo del cultivo de tomate y control de malezas con malla.	67
11	Cajas de Polietileno utilizadas para cosechar tomate.	71
12	Producción de tomate en cajas de Polietileno HDPE.	71
13	Planta y producción de tomate, en invernadero.	73
14	Frutos de tomate.	73
15	Cajas de cartón utilizadas para trasladar los tomates.	84
16	Cajas con frutos de tomate.	84
17	Residuos de biomasa del cultivo de tomate, en el suelo.	85
18	Residuos de biomasa del cultivo de tomate, en cajas de plástico.	85
19	Sustrato fibra de coco (<i>Coconut fiber</i>).	119
20	Sacos de fibra de coco (<i>Coconut fiber</i>).	119
21	Tablas de lana de roca (<i>Rock wool</i>).	122
22	Sustrato Picón a granel (<i>Basalto</i>).	124
23	Bandeja con sustrato Picón (<i>Basalto</i>).	124

ABREVIACIONES Y ACRONIMOS

UAB	Universidad Autónoma de Barcelona.
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales.
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (Guatemala).
IRTA	Instituto de Recerca y Tecnología Agroalimentaria.
ICIA	Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
SosteniPrA	Sostenibilidad y Prevención Ambiental.
FAO	Food and Agriculture Organization.
Has	Hectáreas.
UF	Unidad funcional.
Kg	Kilogramos.
LCA	Life Cycle Assessment.
ACV	Análisis del Ciclo de Vida.
AICV	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida.
SETAC	Society of Environmental Toxicology and chemistry.
ISO	International Standard Organization.
CML	Centre of Environmental Science.
ARA	Agotamiento de Recursos Abióticos.
PCG	Potencial del Calentamiento Global.
PODE	Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico.
PTH	Potencial de Toxicidad Humana.
PADETA	Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática.
PETMA	Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática
PETT	Potencial Eco Toxicidad Terrestre.
POF	Potencial Oxidación Fotoquímica.
PA	Potencial de Acidificación.
PE	Potencial de Eutrofización.
E	Energía.
A	Agua.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
CH ₄	Metano.
N ₂ O	Monóxido di nitrógeno.
NH ₃	Amoníaco.
NO ₃	Nitratos.
CFC	Cluorofluorocarburos.
NO _x	Oxido Nitrógeno.
PO	Foto oxidantes.
SO ₂	Oxidos de Azufre.
POCP	Photochemical Ozone Creation Potentials.
VOC _s	Compuestos Orgánicos Volátiles.
pH	Potencial de Hidrógeno.
H ₂ S	Acido Sulfhídrico.
PE	Potietileno.
PVC	Polyvinylchloride.
LDPE	Low Density Polietilene.
PP	Polipropileno.

MJ	Mega Julios.
H	Hora.
kWh	Kilo watt hour.
FAB	Fabricación.
CMTR	Cantidad de Material Total Requerido.
CTUR	Cantidad de Utensilios Agrícolas Requerido.
MNT	Mantenimiento.
mm	Milímetros.
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico.
CC	Consumo de combustibles.
REP	Reparación.
P	Peso.
V	Vida útil.
T	Horas de utilización de la maquinaria.
A	Superficie.
L.ha-1	Litros por hectárea.
L.kg-1	Litros por kilogramo.
g	Gramos.
TM/Ha	Tonelada métrica por hectárea.
m ²	Metros cuadrados.
N	Nitrógeno.
IPCC	Climate Change Indicators Panel.
cc	Centímetros cúbicos.
L	Litros.
Km	Kilómetros.
ERD	Experimental reference data.
tkm	Toneladas por kilogramo.
RF	Rafia.
a	Emisiones al aire.
r	Recursos no renovables.
w	Emisiones al agua.
%	Porcentaje.
Lab	Laboratorio.
c.a	Capacidad de aireación.
cm	Centímetro.
M ³ /ha	Metros cúbicos por hectárea.
PCDF	Policlorodibenzofuranos.
PCDD	Policlorodibenzodioxinas.

RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis doctoral fue realizar una evaluación ambiental, efectuando una comparación de los invernaderos tipo parral y multitúnel y de tres tipos diferentes de sustratos utilizados en la producción de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria. Para llevar a cabo esta cuantificación se utilizó la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Esta tesis esta estructurada en capítulos, en el **primer capítulo**, aparece la introducción, objetivos, el planteamiento del problema, los antecedentes, la historia de la producción de cultivo bajo condiciones protegidas, descripción de los diferentes tipos de invernaderos, así como el área cultivada, la descripción e importancia del cultivo de tomate, historia general del ACV, principales trabajos realizados en agricultura utilizando la metodología de ACV etc.

En el **capítulo segundo**, se realiza la descripción de la metodología del ACV, de acuerdo con la normativa de la International Standard Organization, ISO 14040 (2006).

En este **capítulo tercero**, se desarrollan las principales fases de la aplicación del ACV en invernaderos Canarios, el cual se divide en objetivos, alcance y el inventario. Dentro de los objetivos y alcance se discuten la función de los sistemas, la unidad funcional, los límites de los sistemas, las reglas de asignación de las cargas ambientales agrícola, calidad y procedencia de los datos utilizados. En la fase del inventario, se recoge la información relativa a la infraestructura y montaje de los invernaderos, la producción del cultivo de tomate, el transporte utilizado para trasladar la producción de tomates y la gestión de los residuos de los invernaderos parral y multitúnel.

En el montaje de la infraestructura de los invernaderos parral y multitúnel se cuantificó la cantidad de materiales que se emplearon en la estructura y el equipo auxiliar y respecto a la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas se consideró el manejo de los invernaderos durante la producción, la producción de fertilizantes y el control fitosanitario. En la gestión de los invernaderos se consideraron las diferentes prácticas culturales, la ventilación, el empleo de la maquinaria agrícola y la cosecha.

En el **capítulo cuarto**, se presenta el análisis de impactos e interpretación de los resultados de esta tesis. El análisis de los resultados se ha estructurado de la siguiente forma: en el ACV de la infraestructura de los invernaderos parral y multitúnel, el principal resultado que sobresale es que el invernadero multitúnel es más contaminante ambientalmente que el invernadero parral en lo que se refiere a la infraestructura.

En el **capítulo quinto**, se realiza una evaluación de tres tipos de sustratos utilizados en las Islas Canarias. En este capítulo se comparan los resultados de las cargas ambientales asociadas al tipo de sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate en invernadero: los diferentes tipos de sustratos estudiados son fibra de coco o lana de coco (*Coconut fiber*) origen Filipinas, lana de Roca (*Rock wool*) origen Dinamarca y el picón (*Basalt*) origen local en Las Palmas Gran Canaria, España. Además se hace una descripción de cada uno, origen, proceso de fabricación, características agronómicas, tipos de presentación, residuos y los tipos de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar los sustratos desde el lugar de origen al lugar en donde son utilizados.

De los tres tipos de sustratos utilizados en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, el que produce las mayores cargas ambientales es la lana de roca (*Rock wool*), seguido por el sustrato de fibra de coco (*Coconut fiber*) y en menor cantidad el picón. (*Basalt*). El picón es pues una buena opción a nivel local en las zonas productoras, siempre y cuando se homogenice el material, se mejore el manejo agronómico y el traslado del sustrato sea a distancias cortas.

Por último, en el **capítulo sexto** se recogen las principales conclusiones generales del trabajo derivadas de la detección de los puntos ambientalmente débiles, en la infraestructura de los invernaderos y en el proceso de producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas y al mismo tiempo se recomiendan futuras líneas de investigación.

SUMMARY

The main goal of this Ph D thesis was to do an environmental assessment, comparing “parral” and multitunnel greenhouses and three different substrates used in tomato production under protected conditions in Las Palmas de Gran Canaria. To carry out this quantification the methodology of the Life Cycle Assessment (LCA) was used. This thesis is structured in chapters, the first chapter includes the introduction, approach to the problem, goals, background, history of crop production under protected conditions, description of different types of greenhouses, as well as the cultivated area, the description and importance of the tomato crop, general history of the LCA, principal works realized in agriculture using methodology LCA etc.

In the second chapter, the description of the methodology of the LCA, in accordance with the normative International Standard Organization, ISO 14040 (2006), is given.

In the third chapter, the main stages of the implementation of LCA in Canarian greenhouses are developed. Within the objectives and scope, the function of the systems, the functional unit, the system’s boundaries and the rules for the allocation of environmental burdens, quality and origin of data used are discussed. In the inventory phase, data from infrastructure and assembly of the greenhouses, crop production of tomato, the transport used to move the production of the crop of tomatoes and the management of the waste of the greenhouses parral and multitunnel is collected.

In the assembly of the parral and multitunnel greenhouses infrastructure the amount of materials used in the structure and auxiliary equipment is quantified. In relation to tomato production under protected conditions, the management of greenhouses for the production, the fertilizer production and phytosanitary control are considered. In the management of greenhouses different cultural practices, ventilation, use of farm machinery and harvesting are considered.

The fourth chapter presents the impact analysis and results interpretation of this thesis. The Analysis of the results is structured in the following form: the LCA of the infrastructure of the greenhouses parral and multitunnel highlights that the multitunnel greenhouse is environmentally more polluting than the parral one as it refers to the infrastructure.

In the fifth chapter the environmental assessment of three types of substrates used in the Canary Islands, Spain is presented. This chapter compares the results of the environmental burdens associated with the type of substrate used in the production of greenhouse tomato crop. The different types of substrates studied are coconut fiber or wool coconut (*Coconut fiber*) from Philippine origin, Rock wool (*Rock wool*) from Denmark origin and picón (*Basalt*) from local sources in Las Palmas Gran Canaria, Spain. In addition, a description of each source is done: manufacturing process, agronomic characteristics, types of presentation and types of waste (residues), and land and sea transportation used to move the substrates from the origin to the place where they are used.

Of the three types of substrates used in crop production of tomato under protected conditions, which produces the greatest environmental burdens is the Rock wool (*Rock wool*), followed by coconut fiber substrate (*Coconut fiber*) and less the amount picón. (*Basalt*). The substrate picón is then a good choice at the local level in production areas, provided that the material is homogenized, agricultural management is improved and the transfer of the substrate is at a short distance.

Finally, in the chapter sixth the main conclusions derived from this work are described, taking into account the detection of the environmentally weak points in the greenhouses infrastructure and in the production process of the tomato crop under protected conditions. Furthermore, future research is recommended.

RESUM

L'objectiu principal d'aquesta tesi doctoral va ser realitzar una avaluació ambiental, efectuant una comparació dels hivernacles tipus parral i multi-túnel i de tres tipus diferents de substractes utilitzats en la producció de tomàquet sota condicions protegides a Las Palmas Gran Canària. Per realitzar aquesta quantificació es va utilitzar la metodologia de l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV). Aquesta tesi està estructurada en capítols. En **el primer capítol**, apareix la introducció, el plantejament del problema, objectius, els antecedents, la història de la producció de cultiu sota condicions protegides, descripció dels diferents tipus d'hivernacles, així com l'àrea conreada, la descripció i importància del cultiu de tomàquet, història general de l' ACV, principals treballs realitzats en agricultura utilitzant la metodologia de l' ACV etc.

El capítol segon es dedica a la descripció de la metodologia de l' ACV, d'acord amb la normativa de la International Standard Organization (ISO), 14040 (2006).

En aquest **capítol tercer**, es desenvolupen les 2 primeres fases de l' aplicació d'ACV en hivernacles de Les Canàries, el qual es dividex en objectius, abast i l'inventari. Dintre dels objectius i abast es discutixen la funció dels sistemes, la unitat funcional, els límits dels sistemes, les regles d'assignació de les càrregues ambientals agrícoles, qualitat i procedència de les dades utilitzades. En la fase d'inventari, es recullen les dades referents a la infraestructura i muntatge dels hivernacles, la producció del cultiu de tomàquet, el transport utilitzat per a traslladar la producció de tomàquets i la gestió dels residus dels hivernacles parral i multi-túnel.

En el muntatge de la infraestructura dels hivernacles parral i multi-túnel es quantifica la quantitat de materials que s'han utilitzat en estructura i equipament auxiliar i respecte a la producció del cultiu de tomàquet sota condicions protegides es van considerar la gestió del maneig dels hivernacles durant la producció, la producció de fertilitzants i el control fitosanitari. En la gestió dels hivernacles es tenen en consideració les diferents pràctiques culturals, la ventilació, l'ocupació de la maquinària agrícola i la collita.

En el capítol quart, es presenta l'anàlisi d'impactes i la interpretació dels resultats d'aquesta tesi. L'anàlisi dels resultats s'ha estructurat de la següent forma: en l'ACV de la infraestructura dels hivernacles parral i multi-túnel, el principal resultat és que l'hivernacle multitúnel és més contaminant ambientalment que l'hivernacle parral pel que fa a la infraestructura.

En el **capítol cinqué**, s'analitzen des del punt de vista ambiental tres tipus de substrats utilitzats en les Illes Canàries. En aquest capítol es comparen els resultats de les càrregues ambientals associades al tipus de substrat utilitzat en la producció del cultiu de tomàquet en hivernacle: els diferents tipus de substrats estudiats són fibra de coco (*Coconut fiber*) origen Filipines, llana de roca (*Rock wool*) origen Dinamarca i el "picón" (*Basalt*) origen local a Les Palmes de Gran Canària, Espanya. A més es fa una descripció de cadascun, origen, procés de fabricació, característiques agronòmiques, tipus de presentació, residus i els tipus de transport terrestre i marítim utilitzat per a traslladar els substrats des del lloc d'origen al lloc on són utilitzats.

Dels tres tipus de substrats utilitzats en la producció del cultiu de tomàquet sota condicions protegides, el que produeix les majors càrregues ambientals és la llana de roca (*Rock wool*), seguit pel substrat de fibra de coco (*Coconut fiber*) i en menor quantitat el picón (*Basalt*). Els resultats mostren el picón és una bona opció a nivell local en les zones productores, sempre i quan es garanteixi la homogeneïtat del material, es millori el maneig agronòmic i el trasllat del substrat sigui a distàncies curtes.

Per últim, en el capítol sisè es recullen les principals conclusions generals del treball derivades de la detecció dels punts ambientalment febles, a la infraestructura dels hivernacles i en el procés de producció del cultiu de tomàquet sota condicions protegides i al mateix temps es recomanen futures línies de recerca.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral no hubiera podido ser realizada sin la ayuda Dios fuente de sabiduría y de muchas personas, a todas ellas quiero expresarles la fortuna y la dicha que he tenido de trabajar y compartir con vosotros, estoy eternamente agradecido por la ayuda, aprecio, amistad y solidaridad recibida de todos, en todo momento.

En primer lugar quiero dejar patente mi agradecimiento muy especial a las doctoras Maria Asunción Antón Vallejo y Gara Villalba Méndez, quienes aceptaron amablemente ser mis directoras de tesis y de quienes he recibido amistad, confianza, conocimientos, asesoría, por haberme guiado en la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y por toda su ayuda para llevar a feliz término este trabajo de investigación. Deseo agradecer a los Doctores Joan Rieradell y Xavier Gabarrell i Durany por haberme aceptado en su grupo de investigación SOSTENIPRA para iniciar este trabajo, por apoyarme con su invaluable experiencia académica y su gran calidad humana, imprescindible para un buen desarrollo profesional. También merece una mención especial la Dra. Monserrat Sarra coordinadora del Master y doctorado por su asesoría en los trámites administrativos y a los doctores Louis Lemkow y Joan Martínez Alier, Director y sub director del Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales respectivamente, por su amistad, ayuda y coordinación, muchas gracias.

También debo agradecer a todos los compañeros del grupo Junior de investigación Sostenipra, su apoyo, amistad y compañerismo durante estos 3 años de convivencia, dentro del grupo de los catalanes tenemos a Carles Martínez, Ramón Farreny, Neus Puy, Julia Martínez, Jesús Rivas, Raul García, Monse Nuñez y Jordi Oliver. Laura Talens (valenciana), Maria Frangua (griega), Armando Timoto (brasileño) y Alfredo Iriarte (chileno). A Carles Martines Gasol agradecimientos sinceros por ayudarme a conocer e iniciar a utilizar el programa Simapro.

Agradesco al Dr. Juan Ignacio Montero, Director de Ingeniería de Biosistemas del Instituto de Recerca y Tecnología Agroalimentaria (IRTA) y a la Dra. Asunción Antón por haberme aceptado dentro del grupo de investigación en el seno del proyecto INIA (RTA 2005-0142-102-02). Al Dr. Pere Muñoz encargado de la transferencia de tecnología por sus esfuerzos de hacer llegar al sector hortícola los resultados de las investigaciones, por su ayuda, consejos y por que no decirlo por llevarme en su coche los días Martes y Jueves de cada semana al IRTA Cabrils, muchas gracias, a Marta Torrellas por su ayuda en la elaboración de los inventario,

amistad y compañía en la oficina, al Dr. Roberto Savé Responsable de Horticultura Ambiental por su apoyo y al Dr. Jordi Doltra, a Eulalia Serra, Beatriz Canovas, Pepe Montero, Isabel Pujadas, a los investigadores Juniors de otros programas en el IRTA Cabrils y a todo el personal técnico-administrativo y de campo, muchas gracias por su colaboración y amistad.

A la Dra. Mary Carmén Cid y Vanesa Raya del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, (ICIA), ubicado en las Palmas, Gran Canarias, España, por su ayuda y colaboración para que este trabajo de investigación se llevara a feliz término, enviándonos toda la información de producción de tomates de los ensayos que ellas realizaron y de los diferentes materiales utilizados en la construcción de los distintos tipos de invernaderos .

Al grupo dinámico de investigadores junior en el programa de Horticultura Ambiental del IRTA Cabrils, Ashwin (de la India), Eduardo Cordoba (mexicano), Monserrat Núñez, Marta Seda y Marina Melé (catalanas), Mercedes Romero (andaluza), Carmen Alicia Parrado (colombiana), Jorge Flores (mexicano), Jeremie Laval (frances) Davide (italiano) y a Hassan Majdoubi (marroqui) por su amistad, compañerismo y por su apoyo en todo momento.

También tuve la oportunidad de compartir y aprender de los amigos y compañeros del Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental ICTA, el cuál es mi centro logístico y al cuál pertenece mi doctorado. Para todos ellos mi agradecimiento, especialmente a Marta, Loli, Dori, Rafael Aroyo los cuáles me apoyaron incondicionalmente. También al personal de este instituto, a los de informática, administración y a todos los profesores, gracias.

Agradezco a las instituciones y personas que me apoyaron, para que realizara los estudios de doctorado siendo ellas:

Fundación FORD, al Centro Investigaciones Regional de Meso América CIRMA, (Guatemala), a la Dra. Anabella y al grupo de trabajo de CIRMA por su apoyo. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA, Guatemala), al Gerente General Dr. Max Gonzáles y al personal técnico administrativo del Instituto por su colaboración y ayuda. Universitat Autònoma de Barcelona, al Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA Barcelona, España) y al grupo SosteniPrA (Barcelona, España). Instituto de Recerca y Tecnología Agroalimentaria (IRTA Cabrils, Barcelona, España). Sin el apoyo y colaboración de ellos no hubiera sido posible el buen desarrollo de mis estudios doctorales.

Finalmente, hay gente que no ha estado en las oficinas, en el campo y en la Universidad, pero si que han estado en mis días, mis recuerdos y en mi vida diaria. Me refiero a toda mi familia, en especial a mis padres, hermanos, sobrinos, tios, abuelo, suegro, cuñadas, cuñados, y demás familiares, quienes seguro habrían querido contribuir en esta etapa de mi vida más. Hay siempre sin embargo, alguien que se destaca, que da ese extra, que se entrega más y en este caso ha sido Leby Jerselita a quien le agradezco infinitamente su amor, su compañía, su amistad y su solidaridad. Gracias por ser como eres. No puedo dejar de agradecer a mis hijos a quienes amo con todo mi corazón Willy, Erick, Allan y a Jennifer mi princesa, que éste triunfo sea un ejemplo para ellos. A las bellas y hermosas ciudades de Cerdanyola del Vallés y Barcelona, España, que nos alvergaron durante este lapso de tiempo que duro el doctortado siempre las recordaremos.

Además quiero dejar patente mi agradecimiento a las instituciones que me han dado el pan del saber y también a las que me han dado el pan espiritual, agradezco a las iglesias evangélicas y a sus congregaciones, IGLESIA EVANGELICA BAUTISTA DE CERDANYOLA DEL VALLES, BARCELONA ESPAÑA, A LA IGLESIA MISION EVANGELICA SION, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, GUATEMALA y a los pastores por sus enseñanzas, consejos y por sus oraciones elevadas al creador del Universo.

Y finalmente, mi agradecimiento al país que me vio nacer Guatemala el país de la eterna primavera. A Quetzaltenango ciudad de la cultura y las estrellas, con su luna de xelajú. Y a ese municipio San Carlos Sija, donde crecieron mis sueños, hoy, uno más se hace realidad. A todos vosotros que el creador del Universo los bendiga.

ING. AGR. MSc. WILLIAN ERIK DE LEON CIFUENTES
BELLATERRA, JUNIO DEL 2009

“El principio de la sabiduría es el temor a Jehová.” Proverbios 1: 7

CAPITULO I.

1. INTRODUCCION, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A escala mundial existen casi cuatro millones de hectáreas de superficie sembradas con el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Lo que representa una producción de 108.5 millones de kilogramos de tomates (FAO. 2002). (Tabla 1) En España dentro de la horticultura intensiva, la producción de tomate es la más importante con mas de 63,000 hectáreas dedicadas a su cultivo, de las cuales un 25% es cultivada bajo condiciones protegidas (invernadero 15,750 Has.).

Tabla 1: principales países productores de tomate a nivel mundial en toneladas.

PAÍSES	PRODUCCIÓN TOMATES AÑO 2002 (TONELADAS)
China	25,466,211
Estados Unidos	10,250,000
Turquía	9,000,000
India	8,500,000
Italia	7,000,000
Egipto	6,328,720
España	3,600,000
Brasil	3,518,163
Rep. Islámica de Irán	3,000,000
México	2,100,000
Grecia	2,000,000
Federación de Rusia	1,950,000
Chile	1,200,000
Portugal	1,132,000
Ucrania	1,100,000
Uzbekistán	1,000,000
Marruecos	881,000
Nigeria	879,000
Francia	870,000
Túnez	850,000
Argelia	800,000
Japón	797,600
Argentina	700,000

FUENTE: FAO 2002

En el **Tabla 1**, se citan los países que producen la mayor cantidad de tomate en el ámbito mundial, siendo la República de China la de mayor producción de tomate, seguida por Estados Unidos de América. España está ocupando el lugar número 7 con una producción de 3,600,000 toneladas (FAO 2002), por ser tan extendida la producción esta sujeta a la utilización de diferentes tecnologías. Dentro de las tecnologías utilizadas está la generada para invernaderos muy sencillos cultivando directamente en suelo y la de invernaderos altamente tecnificados mediante la calefacción, aporte de humedad, fertilización carbónica, fertirrigación, cultivos en sustratos y en algún caso con recirculación de nutrientes.

Desde el punto de vista ambiental los invernaderos presentan aspectos negativos como son las necesidades energéticas en climas fríos, la acumulación de residuos plásticos y aspectos paisajísticos. Mateo Box (1996) califica la agricultura bajo plástico como un brutal atentado al paisaje además de conllevar graves riesgos de contaminación de tipo residual (plásticos, vegetales y envases) y de los materiales fitosanitarios que consumen, no justificándose según este autor la conveniencia de sustraer la agricultura de la imprevisión inherente a las condiciones climáticas, prolongar el periodo productivo o avanzar la entrada de un producto en el mercado.

Existen sin embargo aspectos positivos en la producción en invernadero como lo es la mejor utilización de los recursos naturales, suelo y especialmente el agua. El cultivo de tomate en invernadero consume un 45% menos de agua respecto al cultivado en el exterior, mientras que para el pimiento se reduce a un 24 por ciento (Pérez Parra 2002).

Otro aspecto positivo del cultivo de tomate es la importancia alimenticia, comercial y socioeconómica, siendo una fuente importante en la generación de empleo, utilizando mano de obra a nivel local y generando empleos indirectos en las distintas cadenas de producción y comercialización. Además generando ingresos económicos para los propietarios.

El objetivo de esta investigación fue la cuantificación del impacto ambiental atribuible al proceso del cultivo de tomate en invernadero, comparándose diferentes tipos de estructuras de fabricación de invernaderos y la producción del cultivo de tomate.

En esta investigación se utilizaron datos correspondientes al cultivo de tomate bajo invernadero en el área geográfica de las Islas Canarias, España. Mediante la metodología del

Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se cuantificaron las cargas ambientales asociadas al cultivo de tomate bajo invernadero que estaban afectando a los recursos naturales, flora, fauna, biodiversidad, medio ambiente y a la salud humana. La identificación y cuantificación de la energía y materiales usados y los residuos emitidos al entorno, los cuales permitieron analizar los impactos de éstos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.

1.2. ANTECEDENTES.

1.2.1. HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS.

Los primeros intentos de la humanidad para proteger los cultivos de la intemperie de la que se tiene noticias datan del Imperio Romano, según (Wittwer 1995), citados por (Antón 2004). Estos consistían en banquetas móviles de pepinos, otros cultivos hortícolas, colocadas en el exterior en los días soleados y en el interior con condiciones atmosféricas más desfavorables. Dichas banquetas se cubrían con láminas de mica o alabastro que hacían la función de cubierta. Parece ser que esta práctica desaparece con el declive del imperio romano y no es hasta las postrimerías del siglo XV en que aparecen los primeros precursores de los invernaderos, inicialmente en Inglaterra, Holanda, Francia, Japón y China. Se tratan en un principio de cajones de madera o bambú, cubiertos por una protección (laminada o campana) de vidrio, cultivándose una amplia variedad de verduras de pequeños frutos.

Durante el siglo XVII ya se encuentran recintos que pueden considerarse propiamente invernaderos pero que tienen únicamente un frontal de vidrio en forma de techo inclinado. En el siguiente siglo existen construcciones con paredes laterales y frontal de vidrio y hacia finales del siglo XVIII ya se dispone de toda la estructura de vidrio. Los países precursores son principalmente Inglaterra, Holanda, Francia y en los países escandinavos hacia finales del siglo XIX la producción comercial de cultivos se había establecido. (Antón 2004).

Hace 500 años se inicio el uso de la calefacción en los invernaderos. A finales del siglo XV y durante el XVI se usan hogueras de carbono en el suelo del invernadero. En el siglo XVII aparecen las primeras estufas. El XVIII trae las primeras estufas con chimeneas que atraviesan el invernadero repartiendo calor, a partir del siglo XIX se utilizan las calderas con

agua caliente y que usan como combustible carbón, hasta en nuestros días en el combustible ha sido sustituido por gas-oil o gas. (Vanden Mijzenberg 1980).

En 1960 Holanda tenía la mayor concentración de invernaderos con cubierta de vidrio (5,000-6,000 ha). El desarrollo de estructuras de forzado e invernaderos pronto se expande desde Europa a América. Y a partir de los años 50 comienza la expansión, principalmente en Asia y el área Mediterránea de invernaderos con cubierta de plástico y en principio no calefactados. Los cultivos que se realizan fundamentalmente comestibles, concentrándose en el norte de Europa los cultivos de tipo ornamental. Actualmente, sin embargo, ha comenzado una expansión de la floricultura también en el área Mediterránea especialmente debida a la ampliación de más tecnología.

1.2.2. INVERNADEROS.

Un invernadero es aquella estructura que, además de proteger al cultivo de la lluvia y el viento, permite el paso de la radiación solar dificultando la pérdida de calor, en particular la del componente del infrarrojo técnico. El grado de modificación climática va a depender del nivel tecnológico de los materiales empleados en su construcción y de los equipos complementarios de climatización, calefacción, humidificación, ventilación, abonado carbónico, iluminación artificial, etc. Esta modificación climática permite avanzar cosechas, aumentar rendimientos o cultivar fuera de época. En los últimos años se ha producido una expansión de la superficie protegida, acolchados, túneles, invernaderos, a causa de la demanda por parte del consumidor de los países desarrollados de productos frescos y económicos a lo largo de todo el año (Antón 2004).

A nivel mundial existe una gran variabilidad de estructuras de invernaderos que se pueden resumir.

- a) Invernadero tipo parral (Almeriense).
- b) Invernadero Multitúnel.
- c) Invernadero de vidrio (Holandés).

En este estudio vamos a analizar los invernaderos parral y el multitúnel los cuales vamos a definir a continuación.

1.2.2.1. INVERNADERO PARRAL.

La definición más amplia del invernadero tipo parral se puede indicar que se trata de un abrigo climático simple, de bajo coste, construido por soportes de madera, sobre los que se sustenta un doble tejido de alambre, que sujeta un cerramiento de plástico. En función de su régimen térmico se define como un invernadero frío (temperatura nocturna entre 2 y 10 °C.).

a) Descripción del invernadero tipo parral.

Este invernadero se desarrolló a partir de unas estructuras del mismo nombre que servían de soporte al cultivo de la uva de mesa de la zona (parras). Estas estructuras están conformadas a base de postes de madera y un tejido o malla de alambre, a unos dos metros de altura, sobre los cuales se guían los sarmientos de la parra, colgando los racimos de uva bajo su sombra, libres de follaje, lo que facilita su tratamiento y recolección. La amplia tradición en la construcción artesanal de parrales propició en su día, junto al desarrollo en la aplicación de los plásticos en la agricultura, un amplio desarrollo de este tipo de invernaderos. La transformación del parral que dió paso al invernadero o abrigo tipo “parral” o tipo “Almería”, consistió en dotar a la estructura original de un segundo entramado de alambre colocando entre ambas mallas una lámina de plástico, extendiendo este cerramiento, a los laterales de la estructura.

Desde una óptica estricta, el invernadero tipo parral debe ser considerado más como un abrigo climático, con el que se logran los objetivos de producción, precocidad y calidad en el desarrollo de cultivos forzados, que como un invernadero, concepto que exige la posibilidad de climatización artificial y regulación climática, aspectos en los que ésta estructura es poco eficiente, Matallana, Montero (1995).



Fotografía 1. Vista panorámica del invernadero Parral

b) Dimensiones del invernadero tipo parral.

Una de las mejores virtudes de los invernaderos tipo parral es la capacidad para adaptarse a cualquier tipo de parcela, sea cual sea su forma y cabida. Ello a su vez hace que sus dimensiones en planta sean variables, pudiendo observarse invernaderos desde 500 o 1,000 m² y hasta 10,000 m².

La estructura más simple, dentro de la tipología del invernadero parral, es de cubierta plana, con una altura que oscila entre 2.5 y 3.0 metros. Esta altura define el volumen unitario del mismo orden, 2.5 a 3.0 m³. / m².

Los invernaderos de tipo parral que se construyen actualmente son los de cubierta de dos aguas, tienen una extensión media comprendida entre 2,000 y 5,000 m². Y una altura entre 3.0 y 4.5m, habiendo mejorado el tipo unitario y por tanto la energía técnica del invernadero y la capacidad de captación de la radiación solar (Vanden Mijzenberg 1980).

c) Tipología estructural.

Bajo la denominación del invernadero parral, existe una cierta diversidad tipológica. Atendiendo a los materiales empleados en la construcción de las estructuras resistentes y a la geometría de la cubierta fundamentalmente, pudiendo establecer los siguientes tipos.

✓ Según el material empleado en la estructura de soporte

Invernadero con el soporte de madera.

Invernadero con soportes metálicos.

Invernadero con soportes de hormigón.

Invernadero mixto: estructura perimetral metálica e interior de madera.

✓ Según geometría de soporte

Invernadero tipo plano.

Invernadero a dos aguas: capilla simple, multicapillas y amagado, asimétrico (INACRAL).

1.2.2.2. INVERNADERO MULTITUNEL.

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5 x 8 o 3 x 5 metros. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3.5 y 5.0 metros. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2.5 a 4.0 metros.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 metros y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

a) Ventajas.

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

b) Desventaja.

- Coste más elevado.



Fotografía 2. Vista panorámica del invernadero Multitunnel

1.2.3. ÁREA CULTIVADA EN CONDICIONES PROTEGIDAS.

La superficie mundial cubierta por algún tipo de protección varía entre cuatro y cinco millones de hectáreas. Dejando de lado protecciones de tipo acolchado, cubiertas y túneles bajos y centrándonos en invernaderos de plástico mas o menos tecnificados a escala mundial, la superficie actual supera las 458,000 ha, (Tabla 2) concentrándose las mayores superficies en el sureste asiático, China (200,000 ha) y Corea (27,000 ha), seguido de la cuenca mediterránea. La superficie de invernaderos en el área mediterránea a pasado de 69,000 ha. a finales de la década de los 80 a una 130,000 ha, en la actualidad esto supone un tercio de la producción mundial. En la provincia de Almería existe la mayor concentración de litoral mediterráneo, aproximadamente 25,000 ha (Pérez Parra 2002).

Tabla 2: superficie cubierta con algun tipo de protección a nivel mundial.

TIPO	EUROPA	AMERICA	ASIA	AFRICA	TOTAL
Invernaderos de plástico	110,000	10,000	320,000	18,000	458,000
Invernaderos de vidrio	15,500	-----	-----	-----	15,500
Túneles bajos	90,000	9,000	192,960	11,050	303,010
Cubiertas	40,000	3,150	12,000	-----	55,150
Acolchados	380,000	200,000	3,500,000	15,000	4,095,000

FUENTE: Antón, 2004

En Europa, España es el país con mayor superficie de invernaderos, con 48,749 hectáreas, le sigue Italia con 27,721 hectáreas, Francia con 9,200 hectáreas, los países que tienen mayor superficie de invernaderos es Turquía y Marruecos con 14,000 y 10,000 hectáreas respectivamente.

En el área de las Islas Canarias la superficie cubierta con diferentes tipos de invernaderos es de 1940.3 hectáreas, de las cuales 1372.9 corresponden al tipo Almería < 4 m. y el de menor es el de tipo multitúnel con 5 hectáreas respectivamente. Lo que indica que la producción de tomates bajo condiciones protegidas es muy importante en las Islas Canarias.

En el Tabla 3, se presentan los tipos de invernaderos utilizados por los productores y la superficie cubierta y en las Fotografías 3 y 4 se observan los tipos de invernaderos utilizados en las Palmas de Gran Canaria, España.

Tabla 3: tipos de invernaderos más utilizados en las Islas Canarias y superficie cubierta en hectáreas 2004.

LUGAR/Y TIPO	CANARIO	ALMERIA < 4 M	ALMERIA > 4 M	RASPA Y AMAGADO	MULTITUNEL	ALTA TECNOLOGIA	TOTAL
Tenerife	48.96	355.07	244.57	52.32	0	0.75	701.66
Gran Canaria	67.16	958.26	73.96	61.26	5	9.20	1174.84
Fuerte ventura	0.00	59.60	4.20	0.00	0.00	0.00	63.80
CANARIAS	116.12	1372.93	322.73	113.58	5.0	9.95	1940.31

FUENTE: Estudio de las encuestas al sector 2004.



Fotografía 3. Vista panorámica de Invernaderos en las Palmas, Gran Canaria, España



Fotografía 4. Vista aérea de los invernaderos tipo Parral

1.2.4. DESCRIPCION DEL CULTIVO DE TOMATE.

1.2.4.1. ORIGEN.

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero para entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África y de allí a otros países Asiáticos y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. (Infojardín 2007).

1.2.4.2. TAXONOMÍA.

Reino:	Plantae.
Subreino:	Tracheobionta.
División:	Magnoliophyta.
Clase:	Magnoliopsida.
Subclase:	Asteridae.
Orden:	Solanales.
Familia:	Solanaceae.
Género:	Lycopersicon.
Especie:	Esculentum.
Nombre binomial:	Lycopersicon esculentum.
Descriptor 1788:	Mill.



Fotografía 5. Cultivo de tomate en invernadero tipo Multitunnel

1.2.4.3. MORFOLOGÍA.

- a. **Planta:** perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).
- b. **Sistema radicular:** raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, corteza y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes).
- c. **Tallo principal:** eje con un grosor que oscila entre 2-4 centímetros en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

- d. **Hoja:** compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés y constan de un nervio principal.
- e. **Flor:** es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate calibre M y G; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.
- f. **Fruto:** baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto. (Infojardín 2007).

En el **Tabla 4**, se presentan las variedades que se utilizaron en la siembra del cultivo de tomate en las islas Canarias en la temporada 2002/2003, teniendo la mayor cantidad de área sembrada la variedad de Yamile (todas) con 401.5 hectáreas, seguida la variedad de Boludo

383.0 hectáreas, Dorothy 221.4 hectáreas, Yamile 12 = Dunkan 219.6 hectáreas, Yamile (no especificado), 133.3 hectáreas y Daniela con 108.9 hectáreas respectivamente.

Tabla 4: variedades de tomate utilizadas en la campaña 2002/2003 en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.

NUMERO	VARIEDAD	SUPERFICIE (HAS.)
1	Yamile (todas)	401.5
2	Boludo	383.0
3	Dorothy	221.4
4	Yamile 12 = Dunkan	219.6
5	Yamile (no especificado)	133.3
6	Daniela	108.9
7	Kyler	102.0
8	Thirme	66.1
9	Yamile 36 = Marina	48.6
10	1020	39.9
11	Thomas	31.2
12	Elides	14.7
13	Chenoa	12.7
14	Tina	5.1
15	Tirlain	3.5
16	Tarantino	3.4
17	Realeza	3.0
18	Pitensa	1.9
19	Marcela	1.8
20	1016	1.2
21	Birloque	1.7
22	Triniti	1.7
23	Kalima	1.7

FUENTE: Estudio de las encuestas al sector 2004.

1.2.5. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DE TOMATE EN LAS ISLAS CANARIAS, ESPAÑA.

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, cocido o frito. En mucha menor escala se utiliza como encurtido.

En las Islas Canarias, para la temporada 03/04, la superficie sembrada con el cultivo de tomate fue de 2448.9 hectáreas, con una producción de 235,286.5 toneladas (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación 2007). Los rendimientos del cultivo de tomate en la temporada 03/04 fueron de 96,078.4 kilogramos por hectáreas. Lo que representa una fuerte cantidad de dinero que ingresa por la exportación de la producción del tomate. En el **Tabla 5**, se presenta la evolución del rendimiento de producción en los últimos años.

Tabla 5: evolución del rendimiento de la producción del cultivo de tomate (Kg./Ha.), en las Islas Canarias, España.

NUMERO	TEMPORADA (AÑOS)	RENDIMIENTO (KG./HA.)
1	1984/1985	52,765.62
2	1985/1986	42,593.62
3	1986/1987	41,157.00
4	1987/1988	41,113.86
5	1988/1989	41,229.19
6	1989/1990	47,191.24
7	1990/1991	50,734.41
8	1991/1992	55,143.58
9	1992/1993	59,972.08
10	1993/1994	69,093.42
11	1994/1995	69,771.40
12	1995/1996	89,133.89
13	1996/1997	94,439.51

14	1997/1998	88,929.55
15	1998/1999	74,917.08
16	1999/2000	97,571.30
17	2000/2001	85,247.53
18	2001/2002	80,148.62
19	2002/2003	84,050.06
20	2003/2004	96,078.44

FUENTE: Fedex - Aceto

La producción del cultivo de tomate en las Islas Canarias en los últimos 20 años ha sido muy variable, con un rendimiento promedio de 68,064.1 kilogramos por año, los rendimientos han estado oscilando entre los rangos de 41,113.8 a 97,571.3 kg/ha, en las temporadas 1987/1988 y 1999/2000 respectivamente.

El principal mercado de la producción de tomate Canario es el europeo, en el **Tabla 6**, se presentan los países que más importan y las cantidades, entre los principales compradores están los Países Bajos con un promedio de importación de 146,383.9 toneladas, en los últimos 5 años, Reino Unido un promedio de 92,232.6 toneladas y Alemania 15,780.9 toneladas.

Tabla 6: principales países Europeos a donde se exporta la producción del cultivo de tomate Canario.

PAISES	EXPORTACIONES (TONELADAS)				
	1999	2000	2001	2002	2003
Países Bajos	164,604.0	161,719.8	166,204.0	131,221.01	108,170.7
Reino Unido	110,687.7	97,914.4	93,836.5	80,977.4	77,747.0
Alemania	20,182.2	12,275.0	8,640.0	18,043.5	19,764.0
Bélgica	3,151.8	2,948.2	348.5	0.0	0.0
Italia	1,223.0	1,213.5	1,277.1	1,085.2	505.1
Dinamarca	0.0	0.0	36.2	27.6	3.6
Finlandia	1,322.9	682.5	966.7	358.6	169.2
Suecia	240.9	169.2	150.5	440.4	435.7
Irlanda	76.0	8.4	0.0	6.3	0.1

FUENTE: Ministerio de Economía y Hacienda. Dirección General de Aduanas.

1.2.6. EL CULTIVO HIDROPÓNICO.

Hidroponía cultivo sin suelo.

La palabra Hidroponía se deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor, trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Esta definición se usa en la actualidad para describir todas las formas de cultivos sin suelo. Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de medio de cultivo o sustrato, tales como: cascarilla de arroz cruda y quemada, grava, arenas, piedra pómez, aserrines, arcillas expandidas, carbones, turba, cáscara de coco, lana de roca, espumas sintéticas etc. a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. En un principio solamente al agua se le agregaban los elementos nutritivos. (Calderonlabs 2007).

La palabra Hidroponía fué inventada por W.F. Gericke, profesor de la Universidad de California. Al Profesor Gericke le corresponde el mérito de haber comenzado en 1,938 a realizar los primeros cultivos comerciales sin suelo. Desde la época del profesor Gericke hasta la actualidad el interés por la utilización de esta tecnología se ha incrementado. Por lo tanto el cultivo hidropónico se inicia en Estados Unidos a partir de los 60 con mayor intensidad, (Jensen 1985).

En América Latina las posibilidades de adaptación de estos cultivos a las diversas situaciones de la población son cada día mayores y su aplicación estimula el desarrollo de la creatividad de las gentes por lograr mayores y mejores resultados. En el Japón ha ganado rápida popularidad el cultivo de plantas sin utilizar el suelo. La Hyponía es un modelo tecnológico desarrollado en ese país por el Profesor Shigeo Nozawa basado en cultivar plantas en verdaderas piscinas de agua en movimiento, con estrictos controles en el suministro de nutrientes, oxígeno y temperatura para el desarrollo de inmensas masas radiculares, responsables de la formación de Super-Plantas, como tomateras capaces de producir en solo 6 meses cosechas de 13,000 tomates.

El cultivo “sin tierra” presenta muchas ventajas, tales como:

- Utilización máxima de las potencialidades genéticas de la planta.
- Control eficaz de la nutrición.
- Acortamiento significativo del ciclo vegetativo/producción.

- Incremento importante de la cantidad producida.
- Mejora notable de la calidad del producto. (<http://usuarios.lycos.es/theo/>).

1.2.7. HISTORIA GENERAL DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).

Los estudios realizados en el ámbito del Análisis de Ciclo de Vida se iniciaron en los años 60, pero en forma global fue en los años setenta y en concreto en el sector energético como consecuencia de la reducción de recursos disponibles en el mercado a causa de la crisis energética y causante del encarecimiento del petróleo. La mayoría de los estudios durante este periodo estaban enfocados a sectores de producción nacional y no a productos concretos. (Rieradevall 1995).

En los años ochenta, en la mayoría de los estudios, los balances de energía, materia y residuos todavía se aplican de forma separada, las primeras mejoras metodológicas fueron aportadas por el programa de inventarios de descarga de tóxicos aplicados en EE.UU. (Rieradevall 1995) y por los trabajos de la SETAC, con los métodos de intercambio de mejora de los efectos ambientales y el desarrollo de las metodologías del Análisis del Ciclo de Vida. (Rieradevall 1995).

Tabla 7: evolución histórica del desarrollo de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, en el ámbito mundial (ACV).

DECADA	AÑO	HITO	COMENTARIO
1960s	1960s	Primeros esfuerzos sobre análisis energético.	Sin embargo ¿Hasta cuando retroceder? Algunos trabajos sobre el ciclo de vida fueron hechos probablemente en los primeros años de la revolución industrial.
	1969	Harry Teasley, entonces en la Coca Cola, esponsoriza estudios ACV de varios envases de bebidas, llevados a cabo por el Midwest research Institut (MRI).	El objetivo era comparar envases para determinar cuál de ellos producía menor efecto sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

1970s	1970-1975	Continúan los estudios REPA (Resource and Environmental Profile Análisis) en el MRI. Aparecen otros pioneros, como Boustead y Sundstrom, que empiezan a desarrollar sus modelos.	Uno de los autores de los estudios del MRI William Franklin, funda una de las empresas líderes en ACV en EE. UU. Franklin Associates.
	1973-1974	Primera crisis del Petróleo.	Los análisis energéticos se convierten en la prioridad número uno.
	1975	El interés en los ACV/REPA, cae drásticamente.	Se da únicamente un pequeño empuje gracias a la segunda crisis del petróleo.
	1979	Se funda la SETAC.	Sociedad interprofesionales que ha liderado desde entonces los estudios de ACV.
1980s	1982	Se definen los primeros básicos de los PLA (Product Line Análisis)	Los equipos pioneros son los del Oeko-Institut, en Freiburg y del OIW.
	1984	El EMPA desarrolla el programa de cálculo de ACV: OKO-Base I.	Esto llevo a Oeko-base II, usado por la cadena de distribución Migros.
	1986-1989	El Oeko-Institut empieza a trabajar en PLA.	El trabajo se focaliza principalmente en la metodología, con pocas aplicaciones.
1990s	1990	Procter & Gambley WWF organizan sendas sesiones de trabajo.	El interés de WWF/ Conservation Foundation ha sido seguido por un número creciente de ONGs.
		Se funda Ecobilan, Francia.	Ecobilan es una de las consultorias de ACV de la tercera ola (con la primera ola de

		los 70 y la segunda de los 80).
	Se produce el primer encuentro de la SETAC (en Agosto, en Voltimont, EE.UU.).	Se identifican las tres etapas del ACV: Inventario, impacto y mejoras.
1991	Encuentro de la SETAC en Leiden, Holanda.	Enfocado a la metodología general.
1992	Se funda la SPOLD.	Sociedad formada por 20 grandes compañías europeas cuyo objetivo es la promoción del desarrollo y aplicación del ACV.
	Encuentro SETAC (febrero, Sandestin).	Enfocado en análisis de impacto.
	Encuentro SETAC (junio, Postdam).	Enfocado a las aplicaciones del ACV.
	Encuentro SETAC (Octubre, Wintergreen).	Enfocado a la calidad de los datos.
1993	Encuentro SETAC y SECOTOX (Enero, Copenhagel).	Enfocado en la fase de clasificación dentro del análisis de impacto.
	Conferencia SETAC (mayo, Siembra).	Los practicantes de la metodología desarrollan el documento Guidelines for life Cycle Assessment: a Code of practice.
	Se publica The LCA Sourcebook.	Y el proceso solo acaba de empezar...
1994	Se organizan multitud de conferencias internacionales sobre ACV.	Entre estas se incluye la organizado por la UNTEC en Sitges.
	El ACV forma parte de los planes de estudio de Universidades de gran cantidad	Ya no es un tema circunscrito a unos pocos eruditos. En España, son pioneras la UNTEC, la

		de países europeos.	Universitat Rovira i Virgili y la Universitat Pompeu Fabra.
		El uso del ACV ya es común en los departamentos de medio ambiente de las grandes empresas europeas.	El ACV ya es una herramienta útil de gestión ambiental, sobre todo el diseño de productos, envases y embalaje.

FUENTE: Spold. The LCA Sourcebook 1993

Tabla 8: desarrollo de la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV), en la producción agrícola.

DECADA	AÑO	HITO	COMENTARIO
1990	1993	Primer seminario en Análisis de Ciclo de Vida ACV de agricultura (Weidema 1993).	
	1995-1997	Proyecto de armonización ambiental del ACV para la agricultura. AIR3-CT94-2028 de la comisión europea.	
	1996	Primera conferencia internacional en aplicación de ACV en Agricultura, alimentación y producción agroindustrial y forestal (Ceuterick 1996).	
	1997	Publicación de los resultados del proyecto AIR3-CT94-2028. Harmonization of environmental Life Cycle assessment for Agriculture (Audsley, 1997).	Se investigó como el ACV, puede ser aplicado a la producción agraria, estableciendo las primeras pautas para su aplicación en agricultura e identificando las dificultades de la metodología.
	1997 - 1999	LCAnet-food Project (UE-97-3079)	
	1998	Segunda conferencia	

		internacional en aplicación de ACV en Agricultura, alimentación y producción agroindustrial, en Bruselas, Bélgica (Ceuterick 1998).	
	1998	Primera tesis doctoral en Análisis de Ciclo de Vida y Agricultura ACV, (Cowell 1998; Andersson 1998).	
	1999	Establecimiento de una comparación económica y ambiental (Bailey y col. 1999).	Comparación económica y ambiental en los cultivos de <i>Brassica napus</i> , <i>Triticum aestivum</i> , <i>Hordeum vulgare</i> .
2000	2000	Publicación de los resultados del seminario de ACV de productos alimenticios (Weidema & Meeusen et al. 2000).	
	2001	Tercera conferencia internacional en ACV en Alimentos, en Goteborg, Suecia (SIK 2001).	
	2003	Cuarta Conferencia Internacional en ACV de alimentos, en Horsens, Dinamarca.	
	2003	Milà i Canals L. 2003. Contribution to LCA Methodology for Agricultural Systems, site-dependency and soil degradation impact assessment.	Se realiza el ACV de la <i>Producción de Manzanas. En Nueva Zelanda</i> . (Tesis doctoral de Llorenç Milà i Canals 2003, Barcelona España. UAB.
	2004	Primer Seminario en Análisis de Ciclo de Vida y Agricultura, en Cabrils, Catalunya. Seminario específico en temas de	

		agricultura promovido por la Xarxa Catalana de ACV.	
	2004	Utilización del análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto ambiental del cultivo bajo invernadero Mediterráneo.	Se realiza el ACV, para el cultivo de tomate bajo invernadero en la zona del Maresme, Barcelona España. (Tesis doctoral de Assumpció Antón 2004)
	2005	Segunda Conferencia Internacional en ACV, en Barcelona, Catalunya; LCM 2005: Innovation by life Cycle Management.	Se contó con un grupo temático específico en agricultura.
	2005	Life Cycle Assessment as a tool for Analysing the environmental Performance of key food sector in Galicia (Spain) Milk and Canned Tuna, Universidad de Santiago de Compostela, España	Se realiza el ACV. de la leche y las conservas de Atún (Tesis doctoral de Almudena Hospido quintana 2005) Universidad de Santiago de Compostela España
	2007	3º Conferencia Internacional en ACV; LCM 2007 From theory to practice, in Zurich (www.LCM2007.Org) y la 5º Conferencia Internacional en ACV de alimentos.	Esta actividad se realizó en el mes de agosto del año 2007
	2008	6 th International conference on LCA in the Agri-food sector, Zurich, November 12 – 14; 2008	Esta conferencia se realizó en Zurich, Suiza en Noviembre del 2008.
	2009	CILCA 2009. III Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica 27-29 Abril. Life Cycle Initiative	Esta actividad se realizó en el mes de Abril del año 2009 en Chile
		4º Conferencia Internacional en	Esta actividad se realizará en el

	2009	ACV; LCM 2009 From theory to practice, in Sudáfrica (www.LCM2009).	mes de Septiembre del año 2009 en Sudáfrica
--	------	--	---

FUENTE: Elaboración propia.

1.2.7.1. TRABAJOS REALIZADOS EN AGRICULTURA APLICANDO LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).

Los primeros estudios sobre la influencia que ejerce la producción agrícola en el medio ambiente, se inicia en 1973 coincidiendo con la crisis energética y se basa en los análisis de la energía utilizada. Entre diversos trabajos cabe destacar la obra de (Pimentel 1980). En ella se recogen las entradas energéticas para varios trabajos agrícolas (formulación de plaguicidas, irrigación, fabricación y transporte de fertilizantes y plaguicidas, propagación y transporte de materiales), así como, la evaluación de entradas y salidas energéticas para diferentes cultivos extensivos, hortícola (col, lechuga, melón, pimientos, espinacas) siempre al aire libre, frutales, ganadería, piscicultura y forestales. (Audsley 1997).

Los primeros estudios y proyectos Europeos realizados de ACV, en el campo de la agricultura se centraron en la resolución de los problemas metodológicos encontrados para adaptar esta herramienta de análisis ambiental de uso frecuente en los procesos industriales, al análisis de ciclo de vida en cultivos. En 1998 Cowell publica el primer “Review” sobre los principales proyectos y grupos de investigación existentes en Europa desde 1993 a 1997. (Cowell 1997).

Dentro de los trabajos realizados en agricultura cabe destacar el proyecto AIR3-CT94-2028 coordinado por (Audsley et. al. 1997), para la Comisión Europea. El cual ha llegado a ser una guía metodológica de referencia en todos los proyectos de ACV de agricultura. En este proyecto ocho grupos de investigación procedentes de Europa Central y del Norte de Europa (Austria, Francia, Reino Unido, Suiza, Holanda y Dinamarca) analizaron la producción de cultivos de trigo en tres escenarios determinados (convencional, integrado y orgánico), con el objetivo de solventar los problemas metodológicos encontrados en cada escenario.

Otro proyecto similar fue iniciado en 1997 con el objetivo de solucionar los problemas de aplicación del ACV en productos alimenticios agrícolas. El cual fue llamado LCAnet Food Project (EU-97-3079) Estudio ambiental – Red de análisis de ciclo vida en alimentos. Con un grupo de más de 30 investigadores procedente de 14 países europeos participaron en la construcción de la red europea para el análisis de ciclo de vida de productos alimenticios. Sus

objetivos esenciales fueron: evaluar y recopilar el estado de arte de la metodología de ACV con énfasis en las aplicaciones y conocimientos de la falta de información de los trabajos de ACV realizados en agricultura. Crear un programa de investigación específico para ACV de los productos agrícolas. Iniciar y promover la formación de una base de datos Europeos para ACV de productos agrícolas.

Uno de los resultados de LCA-net Food Concerted Action fue la realización de un Seminario de Expertos en LCA de productos alimenticios. El “report” de este seminario (Weidema 2000) extrae como principales conclusiones que la selección, intercambio e interpretación de la información usada para ACV es un proceso determinante en la obtención de resultados y de extrema dificultad. (Milà 2003).

Trabajos específicos de la aplicación del ACV a la producción de cultivos en condiciones de invernaderos están los de (Antón 2004), en los que se evalúa de la producción de tomate en invernadero y las cargas ambientales que representa el cultivo de tomate bajo invernadero de tipo comercial mediterráneo. Y el trabajo de (Stanhill, 1980) que evalúa el análisis de energía y los costos energéticos.

1.2.7.2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN ESPAÑA.

El desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida, en España tiene sus orígenes a principios de los años noventa. Fruto del interés por la metodología se creó en Catalunya la XARXA temàtica de l'Anàlisi del Cicle de Vida, constituïda en el año 2000, con el objetivo de favorecer el desarrollo e implementación del ACV. En el año 2002 se crea la Red española de ACV, entre cuyos objetivos se halla el fomento de la cooperación entre los diferentes organismos interesados en la aplicación de dicha herramienta, actualmente está constituïda por 26 entidades.

En el territorio Español diversos grupos de investigación han iniciado la aplicación del ACV en diferentes sectores agrarios. Entre otros podemos destacar los proyectos relacionados con el sector horticultor en el que destacan los trabajos de investigación realizados en horticultura (IRTA, Universitat Rovira Virgili a través del grupo AGA), citricultura (Universitat Politècnica de Valencia) y manzanos (Universitat Autònoma de Barcelona). El sector de los cultivos energéticos también presenta una tradición en la aplicación de ACV, especialmente por su utilización alternativa como combustibles (CIEMANT, Universitat Autònoma de Barcelona, Universitat Rovira Virgili y Universitat de Girona). El sector de la ganadería cuenta con diversos grupos de trabajo (CARTIF, Universidad Santiago de Compostela) y de

sus productos derivados como leche (Universidad Santiago de Compostela), cuero (Universidad Autónoma de Barcelona, EUETI Igualada). Recientemente se han iniciado trabajos en el sector acuícola (Universidad Santiago de Compostela). (Antón 2004.), (Antón y Rieradevall 2004).

1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS.

1.3.1. PRINCIPAL.

El objetivo principal de la presente tesis es la evaluación de los impactos ambientales (cargas ambientales) que se generan en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo condiciones protegidas en las islas Canarias, España.

1.3.2. GENERAL.

Evaluar las cargas ambientales directas e indirectas asociadas a sistemas de producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), a través de la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

1.3.3. ESPECÍFICOS.

- a) Realizar un ACV comparativo entre dos tipos de invernaderos y diferentes tipos de sustratos.
- b) Cuantificar el consumo de materias primas, energía y las emisiones de contaminantes generados por la producción, así como los residuos generados en el proceso productivo.
- c) Determinar el balance energético general del ciclo de vida del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con atención a la sub etapa de transporte.
- d) Generar recomendaciones para el mejoramiento de la sostenibilidad de la producción y comercialización del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.

1.3.4. HIPÓTESIS.

La aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) mejora cualitativamente y cuantitativamente, el diagnóstico ambiental de los sistemas de producción del cultivo de tomate en condiciones de invernadero, en las zonas de mayor producción en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, permitiendo así propuestas de utilización del capital natural de forma más sostenible.

CAPITULO II

2. METODOLOGIA DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).

2.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

El Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en ingles *Life Cycle Assessment*) es una metodología de evaluación ambiental, que pretende evaluar la carga ambiental asociada a un producto, proceso o actividad, considerando todas las etapas de su ciclo de vida.

La primera definición consensuada del ACV fue realizada por la *SETAC (Society of Environmental toxicology And Chemistry)*, asociación que ha contribuido enormemente con muchas discusiones sobre el desarrollo metodológico. Según SETAC, el ACV es:

“Es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que este uso de recursos y estos vertidos provocan en el entorno; y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; y reciclado y disposición del residuo”

El concepto de ciclo de vida ayuda a comprender de forma global las diferentes etapas por las que pasan los productos, procesos o actividades, puesto que se realiza un análisis desde “*la cuna a la tumba*”, es decir, desde la extracción de las materias primas necesarias para su fabricación hasta la disposición final de sus residuos.

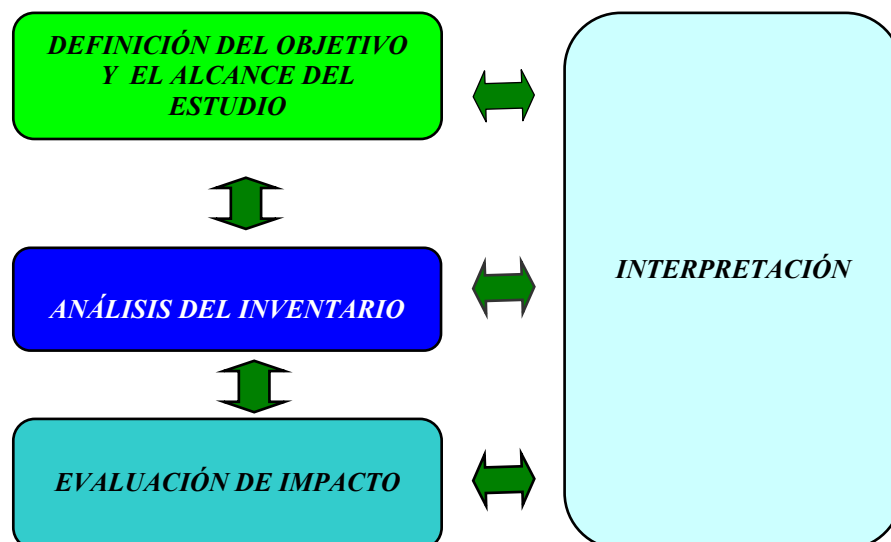
La aplicación de este concepto facilita la evaluación de los impactos globales asociados a los productos y actividades, así como la identificación de las etapas más problemáticas desde el punto de vista ambiental. Así, el estudio de ciclo de vida de los productos, procesos o actividades (el Análisis de Ciclo de Vida) lleva a un planteamiento global que contempla los flujos de materiales y energía entre el sistema productivo y su entorno y conlleva una mejora ambiental integral.

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida, considera una serie de fases, con un orden más o menos definido y que se interrelacionan unas con otras. A partir de los resultados de una fase se pueden replantear las hipótesis de la fase anterior y reconducir el estudio en función de los nuevos conocimientos. El ACV, por tanto, es un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se desarrolla.

La realización del presente estudio se hizo basándose en el modelo propuesto por las Normas ISO 14040 e ISO 14044 (2006) (*International Standard Organization*).

Las principales etapas en que se puede dividir el ACV son las mostradas en la Figura 1. Y se explican a continuación:

Figura 1. Estructura metodológica del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).



FUENTE: Fases de la metodología del ACV, según la norma ISO 14040 (2006)

El análisis del ciclo de vida, ACV (LCA en nomenclatura inglesa), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. El ciclo de un producto considera toda la historia del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como un residuo. Se tiene en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución y uso.

En un Análisis de Ciclo de Vida completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar.

El Análisis del ciclo de Vida (ACV), consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida.

Las categorías generales de impactos medio ambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas. (ISO-14040 e ISO-14044 2006) (*International Standard Organization, 2006*).

La complejidad del ACV requiere de protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por (ISO-14040. 2006). (*International Standard Organization, 2006*).

La primera edición de la norma ISO 14044, conjuntamente con la norma ISO 14040: 2006, cancelan y sustituyen las normas ISO 14040 1997, ISO 14041: 1998, ISO 14042: 2000 e ISO 14043 2000, las que han sido revisadas técnicamente.

2.1.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.

La definición de los objetivos es la primera fase del ACV y tiene que incluir tanto la definición exacta del sistema a estudiar, como el alcance y profundidad del estudio, para determinar cual es el objetivo del estudio y como se utilizarán los resultados obtenidos y las conclusiones que se extraigan. Si durante el desarrollo del ACV se obtiene información relevante, el objetivo puede reconsiderarse. Esta primera etapa sirve para organizar la totalidad del estudio y como referencia para la expresión de resultados, las conclusiones del cual tendrán que incluir cualquier modificación que haya sufrido el objetivo inicial. (Normas ISO 14040 e ISO 14044: 2006).

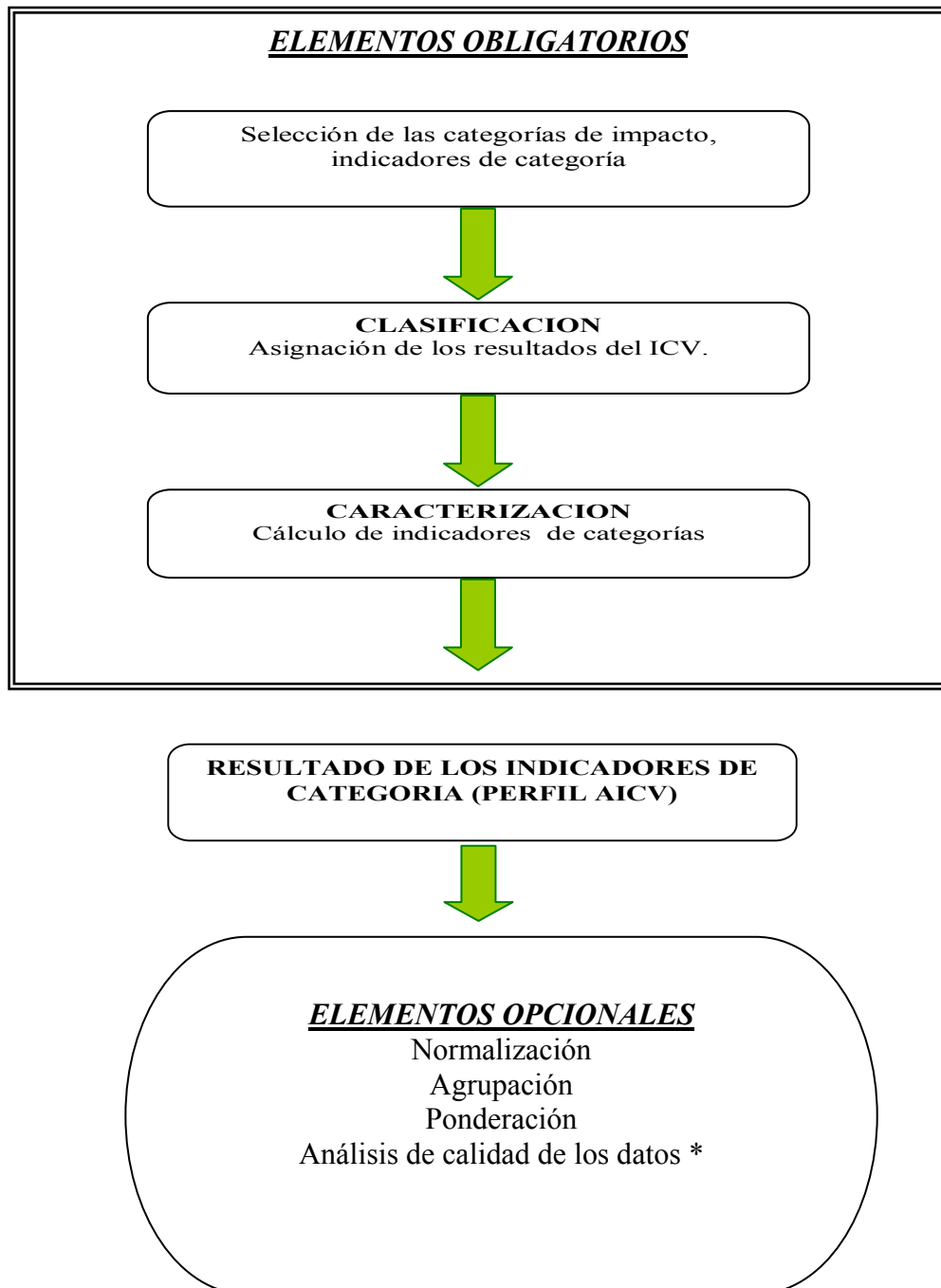
2.1.2. INVENTARIO (ICV).

En esta fase se obtienen los datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica denominaremos estos efectos ambientales como “cargas ambientales”. Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de agua, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. Cuando se trabaje con sistemas que impliquen varios productos, en esta fase se procederá a asignar los flujos de materia y energía, así como las emisiones al medio ambiente asociadas a cada producto o subproducto.

2.1.3. ANÁLISIS DEL IMPACTO (AICV).

La estructura de esta fase viene determinada por la normativa (ISO 14,040: 2006), distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Figura 2.

Figura 2. Elementos obligatorios y opcionales en el (AICV), Análisis del Inventario del Ciclo de Vida.



* Obligatorio en análisis comparativos

2.1.3.1. LOS ELEMENTOS CONSIDERADOS OBLIGATORIOS EN EL AICV.

- a) Selección de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos.
- b) Clasificación.

En esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generales por los procesos o sistemas de productos.

- c) Caracterización.

Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto.

2.1.3.2. LOS ELEMENTOS CONSIDERADOS OPCIONALES EN EL AICV, PUEDEN SER UTILIZADOS DEPENDIENDO DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO DE ACV.

- a) Normalización.

Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto y respecto a un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.

- b) Agrupación.

Clasificación y posible catalogación de los indicadores.

- c) Ponderación.

Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

- d) Análisis de calidad de los datos.

Ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considera obligatorio en análisis comparativos.

2.1.3.3. LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO CONSIDERADAS.

El método de evaluación de impactos utilizado es el modelo desarrollado por el *Centre of Environmental Science* (CML) de Leiden (Guinée et al., 2002). Para la evaluación de impactos se seguirán las dos fases obligatorias según la serie 14040 de las normas ISO, que actualmente son también las que disponen de una mayor aceptación internacional: la clasificación y la caracterización. No se ha aplicado la normalización, ni la valoración de impactos por ser dos fases opcionales según las normas ISO referidas anteriormente y por tratarse de fases sin el suficiente consenso internacional desde el punto de vista metodológico. Las categorías de impacto consideradas para la realización de éste Análisis del Ciclo de Vida (ACV), son las que también presentan mayor consenso internacional. Las categorías incluidas son las de la tabla 9. Incluyen la medida de dos indicadores de flujo, el consumo de energía y de agua.

Tabla 9: categorías de impacto ambiental e indicador de flujo considerados y las unidades de medida de cada categoría.

CATEGORÍAS DE IMPACTO	ACRÓNIMO	UNIDAD DE MEDIDA
Agotamiento de Recursos Abióticos	ARA	Kg Sb eq.
Potencial de Calentamiento Global	PCG	Kg CO ₂ eq.
Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico	PDOE	Kg CFC-11 eq.
Potencial de Toxicidad Humana	PTH	kg 1,4-DB eq
Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática.	PADETA	kg 1,4-DB eq
Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática.	PETMA	kg 1,4-DB eq
Potencial Eco Toxicidad Terrestre.	PETT	kg 1,4-DB eq
Potencial Oxidación Fotoquímica.	POF	kg C ₂ H ₄
Potencial de Acidificación	PA	Kg SO ₂ eq.
Potencial de Eutrofización	PE	Kg PO ₄ ⁻² eq.
Energía	E	MJ/kg
Agua	A	L/m ²

a) Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA).

Consumo de recursos del planeta tales como petróleo, gas natural y Uranio, etc.

b) Potencial de Calentamiento Global (PCG).

Aumento de la temperatura mediana del planeta a consecuencia del efecto invernadero ocasionado por el aumento de la concentración de gases poli atómicos, como el Dióxido de Carbono (CO₂), el Metano (CH₄), el vapor de agua o el Oxido Nitroso (NO₂). Estos gases absorben parte de la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre, de manera que el balance energético entre la radiación incidente del Sol y la emitida por la tierra queda desequilibrada, con consecuencias sobre el clima como un probable aumento de la temperatura.

c) Potencial de Destrucion del Ozono Estratosférico (PDOE).

Es consecuencia, principalmente de la presencia de compuestos halogenados en las capas altas de la atmósfera (estratosfera). Los principales causantes de este efecto son los gases cluorofluorocarburos (CFC) que poseen átomos de cloro y flúor, además de una elevada estabilidad en la atmósfera. Esta estabilidad le permite llegar a la estratosfera, donde los CFC experimentan una fotólisis, liberando átomos de cloro, que intervienen en procesos catalíticos de destrucción del ozono.

d) Toxicidad.

En muchos procesos industriales modernos se utilizan sustancias peligrosas o tóxicas para las personas *y/o para los ecosistemas acuáticos y terrestres*. La toxicidad de una sustancia dependerá de la propia sustancia, pero también de la vía de administración o exposición, la dosis, la manera como se aplica o administra, etc. Es muy difícil agrupar todos los posibles efectos tóxicos en un solo impacto. Generalmente se distinguen entre toxicidad para las personas (PTH), toxicidad para los ecosistemas tanto acuáticos (PADETA y PETMA), como terrestres (PETT), ya que las vías de exposición entre uno y otro caso son muy diferentes. Esta categoría de impacto afecta a las áreas de la salud humana, entorno natural y recursos naturales. Estas categorías son aquellas para los cuales el factor destino y especialmente el

transporte a través de diferentes medios tiene más importancia. Un contaminante no permanece en el medio, compartimento ambiental, (entiéndase aire, suelo, agua superficial, agua subterránea mar,...), en que es emitido sino que puede desplazarse y alcanzar otros compartimentos que serán a su vez contaminados. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión.

e) Potencial de Oxidación Fotoquímica (POF).

Bajo la influencia de la radiación solar, los Oxidos de Nitrógeno, (NO_x), reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. La presencia de monóxido de carbono puede igualmente contribuir a la formación de ozono.

Estos oxidantes fotoquímicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura. Para el cálculo del indicador de formación de foto oxidantes, *PO*, se utiliza como factor de caracterización, *POCP*, Photochemical Ozone Creation Potentials, (Guinée y col., 2002). Se mide respecto al efecto producido por 1 kg de etileno, (ec. 3.14). *POCP* se define como la relación entre el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de un VOC y el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de etileno.

Los NO_x actúan como catalizadores en esta reacción química, no son por tanto consumidos, pero en función de la concentración de NO_x se verá afectada la producción de foto oxidante. Diferentes factores como concentración de industrias, infraestructura de transportes, etc. influirán en la concentración de NO_x .

f) Potencial de Acidificación (PA).

La acidificación consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y ácido clorhídrico, etc. en la atmósfera, en el medio edáfico y en el medio hídrico, donde puede variar la acidez del medio, cosa que afectará a la flora y fauna que habita en él. Produce deforestación y también puede afectar a los materiales de la construcción. Además la acidificación tiene consecuencias graves sobre el funcionamiento de los ecosistemas, como la pérdida de nutrientes del suelo o la movilización de sustancias tóxicas. Afecta por lo tanto a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno

natural, entorno modificado por el ser humano y recursos naturales, las unidades de acidificación se miden en kilogramos equivalentes de SO₂.

g) Potencial de Eutrofización (PE).

La eutrofización se produce con la excesiva concentración de nutrientes de nitrógeno y fósforo en el medio acuoso (lagos, ríos, etc.) que favorecen un rápido crecimiento de las algas. Estas últimas forman una barrera que impide que la luz llegue a los organismos que viven en zonas más profundas y su elevada actividad metabólica agota los nutrientes del medio. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar unas condiciones anaerobias que provocan la descomposición causada por las bacterias anaeróbicas que liberan CH₄, H₂S y NH₃. En último término desaparece cualquier tipo de vida aeróbica, el proceso de eutrofización aumenta en la época de verano. En el medio terrestre, la acumulación excesiva de nutrientes favorece el desarrollo de especies oportunistas (nitrófilas) en detrimento de las preexistentes. Esta categoría de impacto afecta a las áreas de la salud humana, ambiente natural y al ambiente modificado por el hombre.

2.1.4. INTERPRETACIÓN DEL ACV.

La interpretación es la fase de un análisis de ciclo de vida en la que se combinan los resultados de análisis del inventario, con la evaluación de impacto. Los resultados de esta interpretación puede adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en que fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por lo tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cual presenta un mejor comportamiento ambiental.

CAPITULO III

3. APLICACIÓN ACV INVERNADEROS CANARIOS.

3.1. OBJETIVOS Y ALCANCE.

Los parámetros que limitan el alcance del estudio son, según la norma International Standarization Organization (ISO 14040, 2006), los siguientes:

- Las funciones de los sistemas analizados.
- La unidad funcional.
- Los límites de los sistemas.
- Las reglas de asignación de cargas ambientales.
- Los requisitos de calidad de los datos.

3.1.1. FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS.

Los sistemas analizados son invernaderos, producción del cultivo de tomate y residuos, cada sistema principal se le dividió en subsistemas para su respectivo análisis y estudio en ésta investigación.

INFRAESTRUCTURA (Montaje).

Estructura.

Estructura invernadero parral.

Estructura invernadero Multitunel.

Equipo auxiliar

PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

Gestión: manejo del invernadero durante la producción. (Prácticas culturales, ventilación, maquinaria y cosecha.)

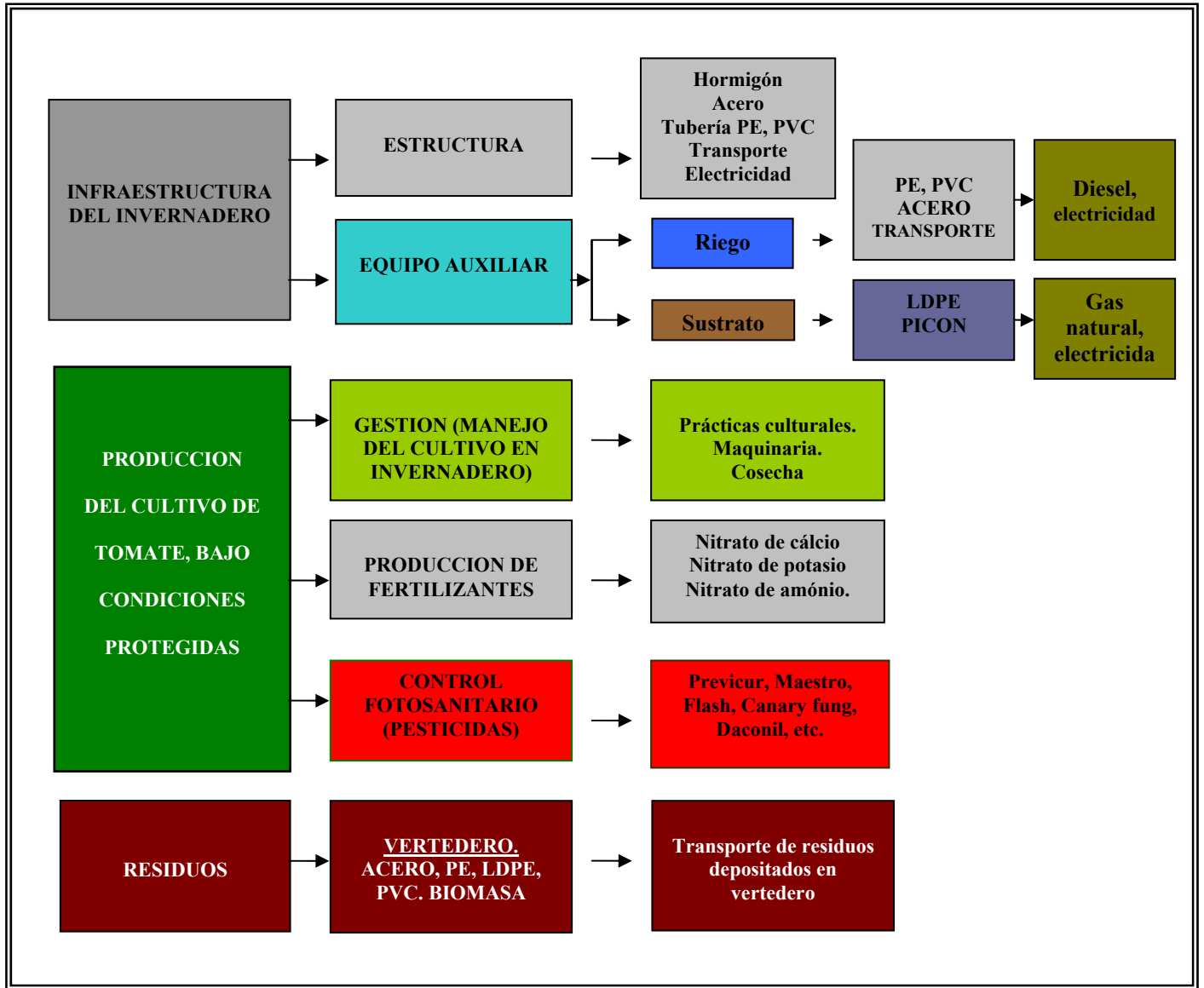
Producción de fertilizantes.

Control fitosanitario (Pesticidas.)

RESIDUOS

Vertedero.

Figura 3. Diagrama que esquematiza los sistemas y subsistemas considerados en la evaluación ambiental del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas, en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España.



3.1.2. UNIDAD FUNCIONAL.

El Análisis del Ciclo de Vida requiere de una base objetiva para la comparación, la Unidad Funcional (UF). La Unidad Funcional es una medida del comportamiento de las salidas funcionales de un sistema y su propósito es proporcionar una referencia para las entradas y salidas del mismo. Esta referencia es necesaria para asegurar que la comparación de los sistemas se hace sobre una base común, una de las características de la unidad funcional es que debe de ser medible.

La Unidad Funcional viene definida como la principal función de un sistema a analizar (ISO-14040, 2006), según Antón (2004) la principal función de un invernadero es producir, por lo tanto sería aconsejable tomar como unidad funcional el kilogramo de tomate. En este estudio se tomó como unidad funcional 1 Kg. de tomate de calibre comercial, obtenido en la producción bajo condiciones protegidas en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España. La selección de esta unidad funcional permite una evaluación cuantitativa y cualitativa de la producción del cultivo de tomate producido. Se han desechado otras unidades funcionales estudiadas, como el precio del tomate en el mercado, eliminada por la gran variabilidad de los precios de los productos hortícolas en el mercado, o la producción de tomates por superficie sin diferenciar su gramaje, descartada por evaluar sólo la cantidad y dejar por un lado la calidad del producto.

3.1.3. LÍMITES DE LOS SISTEMAS.

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV y que cargas ambientales se estudiarán y a qué nivel de detalle. Los límites superiores de los sistemas son, la extracción de las materias primas para la elaboración de la infraestructura del invernadero. Los límites inferiores corresponden a la gestión de los residuos generados y la comercialización del producto.

3.1.3.1. LÍMITES GEOGRÁFICOS.

El Análisis del Ciclo de Vida se ha realizado a partir de los datos de cultivo de tomate producidos en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España, por sus características, éste trabajo se puede hacer extensivo a la producción insular de características semejantes.

El ámbito geográfico varía en función de la etapa del ciclo de vida analizada. Así, la extracción de materias primas (recursos minerales y extracción de crudo), la producción de fertilizante mineral y su transporte tienen lugar a escala global; la manufactura del sistema de fertirrigación y del invernadero a escala nacional, la fabricación, el transporte del sustrato picón y la información de producción y del ciclo del cultivo estudiado, a escala local.

3.1.3.2. LÍMITES TEMPORALES.

Los datos de cultivo corresponden a la campaña 2006 – 2007.

3.1.4. REGLAS DE ASIGNACIÓN DE CARGAS AMBIENTALES.

La asignación de cargas realizadas en este Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se limita a la cuantificación y asignación de todas las cargas ambientales a la producción del cultivo de tomate.

3.1.5. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS DATOS UTILIZADOS.

Los datos correspondientes a los subsistemas manejo del invernadero y fertirrigación proceden de las experiencias realizadas en los invernaderos ubicados en las fincas en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España. Para la recogida y realización del inventario se ha seguido la guía de Audsley (1997) y Antón (2004). Se ha utilizado el software Simapro 7 y la base de datos Ecoinvent ®. En la sección análisis del inventario se halla detallado las fuentes utilizadas en la recogida de datos para cada proceso. En la medida de lo posible, los datos empleados para la realización de este estudio correspondientes a nivel local, proporcionados por el ICIA, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, en la Estación de Investigación Hortícola en Santa Lucía de Tirajana, Las Palmas, Gran Canarias, España.

3.1.5.1. LABORES DE CAMPO.

Información generada, procesada y verificada en las labores culturales que se realizaron a nivel de campo procedente de las producciones del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas en Las Palmas, Gran Canaria, España en la campaña 2006 - 2007: la dosis de fitosanitarios, fertilizantes orgánico y mineral aportadas, consumo de agua y energía de la fertirrigación, tipo de maquinaria usada y el tiempo empleado para las operaciones culturales, cantidad y tipo de cajas utilizadas para la recolección de la producción.

3.1.5.2. INVERNADERO.

Características de la infraestructura de los invernaderos y de su manejo durante la etapa de producción, componentes y materiales de la infraestructura, consumo energético para su construcción, consumo energético de la apertura/cierre de las ventanas. Toda esta información, que corresponde a los invernaderos parral mejorado y multitunel. La unidad funcional que se ha tomado es 1 kg de tomate comercial. Los datos de la infraestructura del invernadero y de su manejo proceden de las producciones del ICIA.

3.1.5.3. DATOS LOCALES.

Cuando no ha sido posible utilizar datos locales directos, se ha empleado información de ámbito regional, procedente de trabajos y bases de datos preexistentes: (Audsley, 1997) y base de datos *Ecoinvent Systems process* versión v. 1.2, 2005, incluida en el programa informático SimaPro v. 7.0, 2007. La base de datos Ecoinvent fue desarrollada por el instituto suizo de investigación en Análisis de Ciclo de Vida *Life Cycle Inventories*. Ecoinvent es una combinación de diferentes ICV (inventario de ciclo de vida). El objetivo era crear una base de datos unificada y genérica de alta calidad. La conversión de la base de datos Ecoinvent de su formato EcoSpold al formato de SimaPro fue realizada por PRé Consultants (SimaPro v. 7.0, 2007).

3.1.5.4. DATOS DE PROCEDENCIA REGIONAL.

- Entradas del inventario de Ecoinvent para la producción y el consumo de combustible de la maquinaria empleada en las operaciones culturales; los datos de inventario fueron modificados, adaptándolos al tipo y peso de maquinaria utilizada en el estudio, según los factores propuestos por los autores de Ecoinvent.

- Manufactura de los fertilizantes minerales y de los fitosanitarios.
- Emisiones de los fertilizantes orgánico y mineral durante el cultivo, calculadas aplicando los factores propuestos por (Audsley, 1997), a partir de la concentración de nitrógeno de las dosis de fertilizantes aportados y del nitrógeno absorbido por el cultivo.
- Transporte de los fertilizantes orgánico y mineral desde el lugar de producción hasta el lugar en donde están ubicados los invernaderos y de los residuos generados en el cultivo hasta el lugar de gestión de estos residuos.

En la **Tabla 10**, se informa del ámbito geográfico (local o regional), la antigüedad de los datos y su procedencia (bibliografía o trabajo de campo).

Tabla 10: calidad de los datos utilizados en los inventario del ciclo de vida (ICV).

PROCESO/ETAPA	ÁMBITO GEOGRÁFICO	ANTIGUEDAD DATOS	PROCEDENCIA
Infraestructura de los invernaderos	Local	2006 - 2007	ICIA, Gran Canaria
	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Manufactura de fertilizante mineral	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Manufactura de fitosanitarios	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Labores culturales	Local	2006 - 2007	ICIA, Gran Canaria
Manufactura de la maquinaria agrícola (tractor y utensilios)	Local	2006	ICIA, Gran Canarias
	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Manufactura de gasóleo	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Producción del invernadero y sistema de fertirrigación	Local	2006 - 2007	ICIA, Gran Canaria
Transporte de fertilizantes	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Emisiones fertirrigación	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Transporte residuos	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent
Tratamiento residuos	Europa	Versión v. 1.2, 2005	Ecoinvent

3.2. INVENTARIO.

3.2.1. INFRAESTRUCTURA, MONTAJE DEL INVERNADERO.

3.2.1.1. ESTRUCTURA.

A) Estructura invernadero tipo parral. (*Raspa y amagado Yeoward*).

El invernadero parral mejorado consiste en un invernadero tipo parral con techo simétrico, con un número de 12 naves, cada nave tiene 8 metros de ancho, con una longitud de 146 metros, la altura de canal (limahoya o amagado) es de 4 metros y la de raspa o cumbrera de 4.5 metros. (Fotografía 6)

Fotografía 6. Invernadero tipo parral utilizado en la producción del cultivo de tomate, en las Palmas Gran Canaria, España.



Tabla 11: características y dimensiones del invernadero parral construido en la comunidad de Vecindario, las Palmas de Gran Canaria, España.

DATOS INVERNADERO	VALOR	UNIDADES
Números de naves	12	U
Anchura nave	8	m
Longitud del invernadero	146	m
Ancho del invernadero	96	m
Números de Ventanas cenitales	10	U
Número de ventanas laterales	2	U
Altura Canal, limahoya (amagado)	4.00	m
Altura cumbrera (raspa)	4.50	m
Perímetro	484	m
Superficie	14,016	m ²
Superficie desarrollada	16,109.1	m ²
Volumen total	59,568.0	m ³

La estructura vertical interna del invernadero parral está formada por tubos de acero galvanizado, los tubos son redondos con longitudes que oscilan entre un rango de 2.5 a 5 metros, con una separación de 2 metros entre cada uno. Los datos de fabricación del acero, alambre y galvanizado provienen de la base de datos ecoinvent (2005).

Tabla 12: dimensiones y características de los tubos de acero utilizados en la construcción del invernadero parral en la comunidad de Vecindario, las Palmas, Gran de Canaria, España.

CONCEPTO	TUBOS REDONDOS INTERIORES	TUBOS PERIMETRALES	TUBOS ESQUINEROS INCLINADOS	HIERRO CURRUGADO
Longitud (m)	4.5	5	5	2.5
Espesor (m)	0.002	0.002	0.002	0.002
Diámetro (pulgadas)	3	3	3.5	0.020
Número (u)	876	239	4	949

Para la construcción del invernadero parral se utilizaron los siguientes materiales, 1119 pilastras de las siguientes dimensiones: superficie base de 28 x 28 centímetros, superficie superior: 25 x 25 cms. con una altura de 28 centímetros. Las gavillas de hormigón tienen 2.65 metros de longitud, de los cuales 2.50 metros van enterrados y 15 centímetros fuera de la superficie, el diámetro de las gavillas es de 16 cms. Los datos de fabricación del hormigón se tomaron de la base de datos ecoinvent (2005).

El invernadero utiliza el film plástico Macresur 800 galgas térmico (LDPE) polietileno de baja densidad como cubierta, el plástico tiene una vida útil de tres años, el material de cubierta se halla sujeto por medio de redes con hilo deltex. Los datos de fabricación se asimilan a polietileno térmico de baja densidad ecoinvent (2005).

En cuanto a la ventilación, este tipo de invernaderos lleva ventanas cenitales abatibles alternas barlovento - sotavento, con una apertura de 70 centímetros, el número de ventanas es de una por nave, exceptuando las naves extremas, con una longitud media de 127.6 metros, la superficie de las ventanas cenitales esta cubierta con malla antiinsectos. Existen también 2 ventanas laterales en los lados de los invernaderos con dimensiones de 1.5 metros de altura y

146 metros de longitud. Toda la superficie de ventilación se halla cubierta por malla antiinsectos.

La tabla 13 detalla el material inventariado en peso de los diferentes materiales utilizados en la estructura del invernadero, material de cubierta y anexos por UF (producción de 1 kg. de tomate comercial). También se detalla la vida útil en años considerada para cada material y fue establecida siguiendo los criterios de (Antón, 2004). Para el cálculo de las cargas ambientales del invernadero por Unidad Funcional (UF) deberá tenerse en cuenta que para la producción del cultivo de tomate bajo invernadero, el cual se realizó durante un lapso de tiempo de siete meses y medio, por lo tanto en el inventario de ciclo de vida (ICV) todos los datos se dividieron por la vida útil y se multiplicaron por el ciclo del cultivo (7.62 meses).

Tabla 13: material utilizado en la construcción de la estructura del invernadero parral por Unidad Funcional, en la comunidad de Vecindario, las Palmas de Gran Canaria, España.

SUB-SISTEMA / ENTRADA	MODULO	ELEMENTOS	VIDA UTIL AÑOS	Cantidad · UF⁻¹	Unidad
Invernadero	Gavillas y Zapatas	Hormigón	20	5.6E-06	m ³
Invernadero	Estructura	Acero	20	2.7E-03	Kg.
Invernadero	Plástico Cubierta	LDPE	3	1.4E-03	Kg.
Invernadero	Canal de Polipropileno	PP	5	7.0E-04	Kg.
Invernadero	Rafia	PE	1	1.7E-04	Kg.
Invernadero	Malla anti insectos en ventanas cenital y enrollable	PE	5	7.5E-05	Kg.
Invernadero	Malla del suelo Polietileno (PE)	PE	5	3.4E-04	Kg.
Invernadero	Hilo deltex	PP	5	3.0E-04	Kg.
Riego	Distribución del riego	PVC	5	1.4E-04	Kg.
Sustrato	Roca volcánica	Picón	8	4.3E-02	Kg.

i) Transporte de los materiales utilizados en la construcción del invernadero.

Para el transporte de los materiales usados en la construcción del invernadero parral se realizó en dos etapas, desde el lugar de fabricación que está en Murcia (España), los materiales fueron trasladados en barco una distancia de 2500 km. hasta el muelle de Gran Canaria y del muelle al lugar de construcción de los invernaderos se ha considerado una distancia de 35 km (del muelle a la comunidad de Vecindario) y se utilizó un camión de 1655 kilogramos, ida con carga y vuelta vacío.

ii) Instalación y manejo del invernadero

El invernadero parral que se construyó tiene un área de 14,016 m², el cual fue utilizado para la producción de tomate en las Palmas Gran Canaria, en el se consideró el consumo energético correspondiente al funcionamiento de la hormigonera y al uso de la taladradora Tabla 14. También se ha tenido en cuenta la parte proporcional de la energía requerida para su fabricación y mantenimiento. Para ello, se han seguido los criterios establecidos en (Audsley, 1997) y en (Antón, 2004):

- Energía de fabricación: 15.8 MJkg⁻¹
- Energía de mantenimiento: 55% de la energía de fabricación de la maquinaria más la producción de la materia prima, generalmente acero (33 MJkg⁻¹).

Tabla 14: datos de la maquinaria utilizada en la construcción del invernadero y cargas por Unidad Funcional (UF.)

MAQUINARIA	PESO (KG)	HORAS FUNCIONAMIENTO	VIDA ÚTIL (H)	ENERGÍA FABRICACIÓN ¹ (MJ)	ENERGÍA MANTENIMIENTO ¹ (MJ)	ENERGÍA FUNCIONAMIENTO ² (MJ)	ENERGÍA POR UF (MJUF ⁻¹)
Hormigonera 550 W	66.5	35	6,000	6.12	3.37	69.04	4.82E-6
Taladradora 700 W	5	70	6,000	0.92	0.51	176.40	1.09E-5

¹(Audsley, 1997), ²(Antón, 2004)

Las tareas de manejo del invernadero comprenden únicamente el procedimiento de apertura/cierre de las ventanas estando automatizado. La apertura se realiza en el horario de 5:00 a 6:00 de la mañana, si la humedad relativa es superior al 95% y el cierre se realiza entre las 16:00 a 17:00 horas, las ventanas se abren cuando la temperatura es superior a los 24 °C, abriéndose un total de 10 ventanas cenitales equipadas con motores Denier 6W y dos ventanas laterales con motores Denier 6W. Algo muy importante es que no se utiliza calefacción durante todo el período de cultivo.

En la tabla 15, se da a conocer la maquinaria que se utilizó en el montaje de los invernaderos, parral y multitunel en la comunidad de Vecindario las Palmas Gran Canaria, España, la máquina hormigonera sirvió para la elaboración del hormigón que se utilizó en la construcción de los invernaderos y la taladradora para taladrar los diferentes materiales usados, esto se hizo siguiendo los métodos utilizados por ¹ (Audsley, 1997)², (Antón, 2004).

Tabla 15: maquinaria utilizada para la fabricación del invernadero en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.

UTENSILIOS EMPLEADOS	POTENCIA KW	PESO KG.	TASA DE UTILIZACION HORAS. HA⁻¹
HORMIGONERA	0.55	66.5	175
TALADRADORA	0.7	5.0	350

En la tabla 16, se tienen los resultados del consumo de energía utilizada por la hormigonera y la taladradora y la que más consume energía es la taladradora con 3.2E-03 MJ/kg. y la hormigonera 1.2E-03 MJ/kg respectivamente. Este alto consumo de energía es debido a la cantidad de horas que se utilizó la taladradora en la construcción del invernadero.

Tabla 16: energía utilizada por la hormigonera y la taladradora en las operaciones de construcción de la infraestructura del invernadero en la comunidad de Vecindario las Palmas, de Gran Canaria, España.

UTENSILIOS	kWh	kWh/kg	MJ/kg
HORMIGONERA	96.3	3.5E-04	1.2E-03
TALADRADORA	245	8.8E-03	3.2E-03

1.0 kilowatt-hour (kWh) = 3.6 MJ

En la tabla 17, se presenta el resumen de la cantidad de material total requerido, por la maquinaria, en la etapa de montaje del invernadero, para la fabricación se requiere de 1.94 kg por hectárea de hormigonera y de taladradora 0.29 kg.ha⁻¹ y en cuanto a kg.kg⁻¹ de la fabricación 1.05E-06 taladradora y 6.95E-06 hormigonera respectivamente.

Tabla 17: resumen de la cantidad de material total requerido, por la maquinaria, por unidad de superficie y por unidad funcional.

UTENSILIOS	FABRICACION (FAB)		CMTR
	kg.ha ⁻¹	kg.kg ⁻¹	
Hormigonera	1.94	6.95E-06	7.0E-06
Taladradora	0.29	1.05E-06	1.0E-06

iii) Gestión de los residuos del invernadero parral y multitunel

En las Islas no hay plantas de reciclaje de plásticos establecidas, los que existen son gestores de residuos, que se encargan de su recogida y procesado para su posterior traslado a las plantas de reciclaje en la Península.

Dentro de los gestores de residuos no peligrosos en el área de las Palmas de Gran Canaria tenemos:

1. Martínez Cano. Polígono Industrial El Goro, municipio de Telde.
2. PLASCAN. S.A. Telde. (ICIA 2008).

Se debe tener en cuenta en la asignación de cargas sobre el invernadero la parte proporcional de la gestión de los residuos que se llevará a cabo al final de su vida útil. La mayor parte de los materiales que lo componen se destinan a vertedero, en este caso, se asume que son transportados al vertedero natural, el vertedero natural más cercano a la zona de estudio se sitúa a 10 km. En el invernadero parral ambas distancias deben multiplicarse por dos, para contabilizar el viaje de ida lleno y vuelta vacío del camión de transporte de los residuos.

Con respecto a los residuos vegetales del cultivo de tomate, en la campaña 2006 – 2007, fueron trasladados directamente al vertedero.

En cuanto al sustrato picón, los residuos son reutilizado en los invernaderos para cubrir las áreas que no estan cementadas y aislar los espacios libres, el plástico es trasladado al vertedero directamente.



Fotografía 7. Residuos de acero



Fotografía 8. Residuos de PVC

B) Estructura invernadero Multitunnel.

El invernadero multitunnel consiste en un invernadero tipo multitunnel con techo semi circular, con un número total de 18 naves, cada nave tiene 8 metros de ancho, con un total de 144 metros de ancho y con una longitud de 135 metros, la altura de canal es de 4.5 metros y cumbrera de 5.8 metros. Las características y dimensiones del invernadero multitunnel se presentan en la tabla 18.



Fotografía 9: vista por adentro y fuera de un invernadero multitunel, utilizado en la producción del cultivo de tomate en las Palmas, Gran Canaria, España.

Tabla 18: características y dimensiones del invernadero multitunel construido en las Palmas Gran Canaria, España.

DATOS INVERNADERO	VALOR	UNIDADES
Números de naves	18	U
Anchura nave	8	m
Longitud del invernadero	135	m
Anchura del invernadero	144	m
Números de Ventanas cenitales	18	U
Número de ventanas laterales	2	U
Altura Canal	4.5	m
Altura cumbrera	5.8	m
Perímetro	558	m
Superficie total	19,440.0	m ²
Volumen total	104,678.7	m ³

La estructura vertical interna del invernadero multitunel está formada por tubos de acero galvanizado, los tubos son rectangulares con longitudes que oscilan entre un rango de 2.0 a 5 metros, con una separación de 2 metros entre cada uno, tabla 19. Los datos de fabricación del acero, alambre y galvanizado provienen de la base de datos ecoinvent (2005).

Tabla 19: dimensiones y características de los tubos de acero utilizados en la construcción del invernadero multitúnel, en las Palmas Gran Canaria, España.

CONCEPTO	PILARES RECTANGULARES INTERIORES	PILARES PERIMETRALES	PILARES PERIMETRO LATERALES
Longitud (m)	5.0	5.0	5.0
Espesor (m)	0.0025	0.0025	0.0025
Diámetro (pulgadas)	3	3	3
Número (u)	442	110	108

Para la construcción del invernadero multitúnel se utilizan los siguientes materiales, 442 pilastras las dimensiones se observan en la tabla 19. Las gavillas de hormigón tienen 1 metro de longitud, el cual todo va enterrado, el diámetro de las gavillas es de 16 cms. Haciendo un total de 660 unidades. Los datos de fabricación del hormigón se tomaron de la base de datos ecoinvent (2005).

El invernadero utiliza el film plástico Indasol (Solplast) 800 galgas (LDPE) polietileno de baja densidad como cubierta del techo del invernadero, el plástico tiene una vida útil de tres años, el material de cubierta se halla sujeto por medio de clips y cuñas y en los lados laterales y frontales del invernadero multitúnel utilizan las placas de poli-carbonato para cubrirlo.

En cuanto a la ventilación, este tipo de invernaderos lleva ventanas cenitales dobles abatibles (tipo mariposa, con una apertura de 70 centímetros, el número de ventanas es de una por nave, exceptuando las naves extremas, con una longitud media de 135 metros, la superficie de las ventanas cenitales esta cubierta con malla antiinsectos. Existen también 2 ventanas laterales en los lados de los invernaderos con dimensiones de 1.6 metros de altura y 135 metros de longitud. Toda la superficie de ventilación se halla cubierta por malla antiinsectos.

La tabla 20, detalla el material inventariado en peso de los diferentes materiales utilizados en la estructura del invernadero, material de cubierta y anexos por UF (producción de 1 kg. de tomate comercial). También se detalla la vida útil en años considerada para cada material, establecida siguiendo los criterios de (Antón, 2004). Para el cálculo de las cargas ambientales del invernadero por Unidad Funcional (UF) deberá tenerse en cuenta que para la producción del cultivo de tomate bajo invernadero se realizó durante un lapso de tiempo de siete meses y medio aproximadamente, por lo tanto en el inventario de ciclo de vida (ICV) todos los datos se dividieron por la vida útil y se multiplicaron por el ciclo del cultivo (7.62 meses).

Tabla 20: materiales utilizados en la construcción de la estructura del invernadero multitúnel por Unidad Funcional, en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.

SUB-SISTEMA / ENTRADA	MODULO	ELEMENTOS	VIDA UTIL AÑOS	CANTIDAD · UF⁻¹	UNIDAD
Invernadero	Gavillas y Zapatas	Hormigón	20	6.9E-06	m ³
Invernadero	Estructura	Acero	20	9.8E-03	Kg.
Invernadero	Plástico Cubierta	LDPE	3	1.5E-03	Kg.
Sustrato	Plástico que cubre la lana de roca	LDPE	3	7.0E-04	Kg.
Invernadero	Malla anti insectos en ventanas cenital y enrollable	PE	5	5.6E-04	Kg.
Invernadero	Malla del suelo Polietileno (PE)	PE	5	8.0E-04	Kg.
Riego	Distribución del riego	PVC	10	8.1E-05	Kg.
Sustrato	Sustrato lana de roca	<i>Rock wool</i>	3	5.7E-03	Kg.
Invernadero	Placa de cubierta	poli carbonato	12	4.3E-04	Kg.
Invernadero	Clips, cuñas y Recogida de drenaje	PVC	10	2.8E-04	Kg.

i) Transporte de los materiales para la construcción de los invernaderos.

Los materiales para la construcción de los invernaderos fueron trasladados desde Asturias hasta Gran Canaria. (Los materiales son fabricados en Asturias y en el País Vasco). Los plásticos: solplast (Lorca, Murcia), malla: Criado y López S.L. (El Ejido, Almería).

Los materiales de la estructura, el plástico y la malla salieron todos en barco en el mismo contenedor desde Asturias hasta Gran Canaria, habiendo recorrido una distancia de 2500 km. Y del muelle hasta la finca ICIA- Estación de Investigación Hortícola en Gran Canarias, Santa Lucía de Tirajana, Las Palmas el trailer recorrió una distancia de 35 Km, el contenedor fue transportado en un trailer de 28 toneladas, ida con carga y vuelta vacío.

3.2.1.2. EQUIPO AUXILIAR

A) El sub sistema de riego en el invernadero parral.

En el sub sistema de riego se utilizaron los siguientes materiales. Tubería de polietileno (PE) de 32 mm, tubería de PE de 16 mm, el número de micro tubos utilizados en el invernadero parral mejorado fue de 16,920; el número de piquetas 16,920 y goteros autowin 3 L/h 16,920.

Tabla 21: material inventariado por unidad funcional (kg/m^2) en el sistema equipo auxiliar del invernadero parral.

MÓDULO	ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD· UF ⁻¹	UNIDAD
Riego	Tubería primaria PE 32 mm	PE	2.0E-03	Kg
Riego	Tubería secundaria PE 16 mm	PE	2.3E-02	Kg
Riego	Goteros autowin 3 L/h.	PE	1.9E-03	Kg
Riego	Micro tubos	PE	7.9E-03	Kg
Riego	Piquetas	PE	1.5E-03	Kg
Sustrato	Picón	<i>Basalto</i>	4.3E-02	Kg

B) El subsistema sustrato en el invernadero parral.

El sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate, en el invernadero parral fue el picón, habiendo utilizado la cantidad de 8460 unidades (sacos), en un total de 73 filas, siendo 116 sacos por fila, la separación entre filas fue de 2 metros.

Características del sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate en la comunidad de Vecindario, Las Palmas Gran Canaria, España, bajo condiciones protegidas. El color del sustrato Picón mas frecuentes son los colores negro y el rojo, las materias primas para la elaboración de este sustrato son de origen natural (Roca volcánica).

El origen de este sustrato es de la empresa Prefabricados Gutiérrez, que esta localizada en C/ El Sino. Montaña Birmajen 38290 – La Esperanza, el Rosario (Tenerife) Teléfono. 922-54-82-72, este sustrato tiene una granulometría más abundante con un índice de grosor de 6 mm.

Tabla 22: propiedades físicas del sustrato picón, utilizado en la producción de tomate bajo condiciones protegidas en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.

PROPIEDADES	PORCENTAJES
Humedad	2% en laboratorio.
Densidad Real	2.13 g/cm ³
Densidad Aparente	0.915 g/cm ³
Espacio poroso total	57.0 % volumen
Capacidad de aireación (volumen de aire a 10 cm de c.a.)	36.6 % volumen
Volumen de agua a 10 cm de c.a.)	20.4 % volumen
Capacidad de retención de agua	204 g/l sus
Contracción	No aparecia
Suspensión acuosa 1/6 (vol : vol)	
pH (suspensión)	7.2
CE (ext., ds/m)	0.04

C) El sub sistema de riego en el invernadero multitunel.

En el sub sistema de riego se utilizaron los siguientes materiales. La tubería de polietileno (PE) de 16 y 63 mm, el número de micro tubos utilizados en el invernadero multitunel es de 22,900, el número de piquetas 22,900 y goteros autowin 3 L/h 22,900 respectivamente.

En la tabla 23, observamos la cantidad de material utilizada por unidad funcional para el equipo auxiliar, en donde el sustrato lana de roca, tiene 1.7E-02 kg/m², seguido por la tubería secundaria con 2.18E-02 kg/m² la mayor cantidad y los otros elementos en menor cantidad.

Tabla 23: material inventariado por unidad funcional (kg/m^2) en el sistema equipo auxiliar del invernadero multitunel.

MÓDULO	ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD· UF⁻¹	UNIDAD
Riego	Tubería primaria PE 63 mm	PE	8.3E-03	Kg
Riego	Tubería secundaria PE 16 mm	PE	2.2E-02	Kg
Riego	Goteros autowin 3 L/h.	PE	1.4E-03	Kg
Riego	Micro tubos	PE	2.3E-03	Kg
Riego	Piquetas	PE	1.8E-03	Kg
Substrato	<i>Rock wool</i>	Lana de Roca	1.7E-02	Kg

D) El subsistema sustrato lana de roca (*Rock wool*) invernadero multitunel.

Características del sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate en las Palmas, Gran Canaria, España, bajo condiciones protegidas. Es un material obtenido a partir de la fundición industrial a más de 1600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coque. Finalmente al producto obtenido se le da una estructura fibrosa, se prensa, endurece y se corta en la forma deseada. En su composición química entran componentes como el sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, etc.

Es considerado como un sustrato inerte, con una C.I.C. (Capacidad de Intercambio Catiónico), casi nula y un pH (Potencial de Hidrógeno) ligeramente alcalino, fácil de controlar. Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire, pero presenta una degradación de su estructura, lo que condiciona que su empleo no sobrepase los 3 años.

Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente, lo que condiciona una disposición muy horizontal de las tablas para que el agua se distribuya uniformemente por todo el sustrato.

Tabla 24: propiedades del sustrato lana de roca (*Rock wool*), utilizado en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España.

Propiedades de la lana de roca	
Densidad aparente (T/m ³)	0.024
Espacio poroso (%)	96.7
Material sólido (% volumen)	3.3
Aire (% volumen)	14.9
Agua fácilmente disponible + agua de reserva (% volumen)	77.8
Agua difícilmente disponible (% volumen)	4.0

(Fernández et al. 1998)

Consumo de agua utilizada para regar los dos tipos de invernaderos parral y multitúnel

En la tabla 25 se reflejan los consumos de agua medidos y expresados como cantidad suministrada en riego por goteo en los invernaderos, siendo la misma cantidad utilizada en los dos tipos de invernaderos, con una frecuencia de aplicación en hidroponía de 5 – 10 riegos por día, la época de aplicación que fue de octubre a mayo, en la campaña 2006-2007.

Tabla 25: cantidad de Agua aplicada en la producción del cultivo de tomate en los dos invernaderos parral y multitúnel.

ITEM	PARRAL	MULTITÚNEL
Riego	L.m ⁻² . año ⁻¹	L.m ⁻² . año ⁻¹
Hidropónico	933.9	933.9

* Campaña 2006 - 2007

Tabla 26: horas de funcionamiento de la bomba de riego y el consumo de energía, en los dos tipos de invernaderos.

RIEGO	TIEMPO HORAS /AÑO	ENERGÍA MJ/kg	ENERGÍA MJ/Ha.
Invernadero parral	368	0.020	5471.4
Invernadero multitúnel	368	0.020	5471.4

Los datos de inventario para las etapas del ciclo de vida incluidas en la estructura de fertirrigación proceden, en el ámbito local, del trabajo de campo en las parcelas de cultivo estudiadas en las Palmas, Gran Canaria, Islas Canarias, España y del trabajo previo de (Antón, 2004) y en el ámbito regional, de los inventarios de Ecoinvent versión v. 1.2, 2005, incluidos en el programa Simapro.

3.2.2. PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon sculentum* MILL), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

3.2.2.1. GESTIÓN Y MANEJO DEL INVERNADERO DURANTE LA PRODUCCIÓN.

Este sistema de gestión o manejo del invernadero se divide en los subsistemas siguientes: Prácticas culturales, ventilación, maquinaria y cosecha.

En este subsistema se consideran todos los factores que intervienen en la producción del cultivo. Se incluyen aquellos que afectan al crecimiento del cultivo de tomate y al manejo del invernadero. Se excluyen por su importancia en subsistemas aparte la fertirrigación y los fitosanitarios, dividiéndose, éstos a su vez, en producción y uso. El estado actual de los ACVs, no permite un cálculo correcto del impacto de la aplicación de plaguicidas en las categorías de toxicidad, por tanto sólo se considerarán aquellos desde el punto de vista de consumo energético en la fabricación y aplicación.

A) Prácticas culturales.

Los datos de inventario para el manejo del cultivo proceden, en el ámbito local, la información generada, procesada y verificada de las labores de campo en las parcelas de cultivo experimentales ubicadas en la comunidad de Vecindario Las Palmas Gran Canaria, España y en el ámbito regional, de los inventarios de Ecoinvent. La variedad de tomate que fue trasplantada es de ciclo indeterminado y lleva el nombre de Boludo.

Características del tomate boludo.

- Es una planta de vigor medio y de porte abierto, con entrenudos cortos y buena cobertura foliar.
- Buena adaptación al uso de porta injertos.
- Recomendada para su cultivo en aire libre, malla e invernaderos.
- Frutos de calibre mediano, 60 – 80 mm de diámetro y unos 80 – 100 gramos de peso, muy uniformes, manteniendo el mismo calibre durante todo el ciclo de cultivo.
- Ramilletes de 6 a 7 frutos muy uniformes.
- Forma redonda y aspecto liso. Excelente calidad de la piel, lo que le confiere una gran resistencia al rajado en condiciones extremas.
- Color rojo intenso sin cuello verde.
- Frutos con gran firmeza y larga conservación en poscosecha, ideal para la exportación.
- Esta variedad alcanza 410 centímetros de altura total al final del cultivo y una producción de 279,000 kilogramos por hectárea, (279 Tm/Ha.).
- Resistencia/Tolerancia:

ToMV (Tomato Mosaic Virus).

V1 (Verticillium).

F1 (Fusarium Raza 1).

F2 (Fusarium Raza 2).

TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus).

TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus). (Seminis 2007).

✓ Preparación del Terreno.

Para la nivelación del terreno dentro de los invernaderos se utilizó un motocultor marca Lambor dini Modelo Fort Tigrotte Econ, con potencia de 4.5 kW, utilizando el fuel de combustible. La actividad realizada fue una pequeña nivelación del terreno para poder colocar las bandejas, seguidamente se coloca la malla en toda la superficie y después se colocaron las bandejas de PE que contenían el sustrato picón (lana de roca), habiéndolas distribuido dentro de toda el área disponible del invernadero parral, para la producción del cultivo de tomate (campaña 2006 – 2007), se colocaron 8460 unidades y en el invernadero multitunel 7600 unidades respectivamente.

✓ Desinfección del suelo.

No se realizó desinfección ya que se plantó en el sustrato de picón, en el caso del invernadero parral y en sustrato de lana de roca (*Rock wool*) para el invernadero multitunel.

✓ Trasplante ó repique

Las plántulas de tomate o pilones van cubiertas con tacos de **lana de roca o de turba**, el trasplante se realizó en forma manual, colocando dos plántulas en cada bandeja, esta actividad se realizó el 3 de Octubre del año 2006, habiendo utilizando un densidad de plantación de 25,000 Plantas/Hectárea, El número de plantas fue de dos por bandeja ($2 * 8,460 = 16,920$ plantas) y de cada planta salieron dos tallos para hacer un total de 33,840 tallos ($2 * 16,920 = 33,840$ tallos). El tamaño de las plantas al momento del trasplante fue de 20 centímetros.

✓ En tutorado.

Para realizar el en tutorado de las plantas del cultivo de tomate, se utilizaron los siguientes materiales, soporte de carrete y cinta de rafia, Pinzas, soporte de plástico, alambre de en tutorado y tensores de en tutorado.

✓ Control de Malezas.

En los invernaderos tipo parral mejorado y en el invernadero multitunel, para el control de malezas se utilizó malla sobre toda la superficie del suelo a excepción de los pasillos con

hormigón y para eliminación de las plantas que emergen en los bordes de los invernaderos se realizó normalmente en forma manual.



Fotografía 10. Desarrollo del cultivo de tomate y control de malezas con malla

B) Ventilación.

Las operaciones de manejo de la estructura del invernadero parral incluyen la actividad de abrir y cerrar las ventanas que es en forma automatizada, para la apertura de las 10 ventanas cenitales, se utilizan 10 motores DeGier 6W y para abrir y cerrar las ventanas laterales 2 motores DeGier 6W respectivamente.

Las ventanas se abren de 5:00 a 6:00 AM, si la humedad relativa es superior a 95%. De 9:00 AM para las 4:00 ó 5:00 PM suelen estar abiertas las ventanas cuando la temperatura es superior a los 24 grados Centígrados. Apartir de las 4:00 a 5:00 PM se cierran las ventanas del invernadero parral.

La ventilación en el invernadero multitúnel. Este tipo de invernaderos lleva ventanas cenitales dobles abatibles (tipo mariposa, con una apertura de 70 centímetros, el número de ventanas es de una por nave, exceptuando las naves extremas, con una longitud media de 135 metros, la superficie de las ventanas cenitales esta cubierta con malla antiinsectos. Existen también 2 ventanas laterales en los lados de los invernaderos con dimensiones de 1,6 metros de altura y 135 metros de longitud. Toda la superficie de ventilación se halla cubierta por malla antiinsectos.

C) Empleo de maquinaria.

Tabla 27: tipo y tiempo de empleo de la maquinaria agrícola utilizada en las operaciones culturales, en la producción del cultivo de tomate en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canarias, Islas Canarias, España.

OPERACIÓN CULTURAL	UTENCILIOS EMPLEADOS	POTENCIA	PESO	VIDA UTIL	TASA DE UTILIZACION	CONSUMO DE COMBUSTIBLE
		kW	Kg.	HORAS	HORAS. Ha ⁻¹	L.Ha ⁻¹
Preparación del suelo	Motocultor Lambordini	4.9	800.0	800.0	1.2	2.5
Carga y transporte de materiales	Remolque	2.0	2500.0	1500.0	2.0	-----
Tratamientos espolvoreo	Sulfatadora solo port 423	2.6	20.5	1150.0	50.0	227.3
Arrastre maquinaria	Tractor Landini	61.0	3070	7200.0	1.1	6.0
Tratamientos fitosanitarios	Pulverizadora Melegari L.	2.2	1020	3000.0	900.0	0.0071 kWh

¹ Todas las operaciones utilizan de maquinaria un tractor de 61 kW en invernadero

² Datos correspondientes al invernadero de 500 m² extrapolados a 1 ha.

En las operaciones culturales se emplean vehículos y utensilios agrícolas que consumen energía y recursos y emiten sustancias contaminantes. Así mismo la fabricación y mantenimiento de esta maquinaria implica un consumo de energía y recursos, considerado proporcionalmente a las horas utilizadas. Por lo tanto se ha considerado para cada una de las operaciones culturales, la cantidad de material total requerido (CMTR), la cantidad de utensilios agrícolas requeridos (CTUR) y el consumo de combustibles (CC).

La CMTR hace referencia a la parte proporcional de tractor utilizada para la realización de cada una de las tareas culturales (Nemecek, T et. al. 2004). Para el cálculo del impacto ambiental asociado a la utilización del tractor, se tendrá en cuenta el impacto producido durante su fabricación (FAB), durante las operaciones de mantenimiento (MNT) y durante las operaciones de reparación (REP) que pueda tener a lo largo de su vida útil.

$$CMTR = FAB + MNT + REP.$$

Para la obtención de los datos de inventario de las entradas de materiales y energía y las salidas de sustancias contaminantes de las operaciones culturales, se han adaptado los procesos inventariados en Ecoinvent al tipo y peso de la maquinaria utilizada, siguiendo los factores propuestos por los autores de Ecoinvent.

Para calcular el impacto ambiental correspondiente a las horas de utilización del tractor y que va asociado al proceso de fabricación utilizaremos la siguiente fórmula:

$$FAB = P/V \cdot T/A$$

Siendo

P = Peso (Kg.)

V = Vida útil (h)

T = Horas de utilización de la maquinaria (h)

A = Superficie (Ha).

Tabla 28: horas de utilización de la maquinaria agrícola en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España.

MAQUINARIA UTILIZADA	PESO (Kg)	VIDA UTIL (h)	P/V (Kg/h)	HORAS UTILIZADAS DE LA MAQUINARIA (h)	SUPERFICIE (Ha)	T/A (h/Ha)	P/V X T/A (Kg/Ha)
TRACTOR	3070	7200	0.4264	1.1	1	1.1	0.47
MONOCULTOR	800	800	1.0000	1.2	1	1.2	1.20
REMOLQUE	2500	1500	1.6667	2.0	1	2.0	3.33
SULFATADORA	20.5	1150	0.0178	50.0	1	50.0	0.89
PULVERIZADORA	1020	3000	0.3400	900.0	1	900.0	306.00

En la tabla anterior se dan a conocer el peso, vida útil, superficie y horas de utilización de la maquinaria agrícola utilizada durante el periodo de producción del cultivo de tomate y se observa que la maquinaria que más horas es utilizada es la pulverizadora y eso es debido al número de aplicaciones que se realizan para el control de plagas y enfermedades.

En la tabla 29, se dan a conocer los factores para el cálculo del suplemento de material en el mantenimiento. El mantenimiento de la maquinaria incluye los cambios de neumáticos, el aceite y los filtros. En éste estudio se ha contabilizado la parte proporcional correspondiente al mantenimiento del tractor y para el resto de la maquinaria se considera que no existe necesidad de mantenimiento y para determinar los impactos ambientales asociados se utilizan los factores que están en función del peso del tractor.

Tabla 29: factores para el cálculo del suplemento de material en el mantenimiento del tractor utilizado en las prácticas agrícolas en la producción del cultivo de tomate.

MATERIAL	FACTOR Kg DE MATERIAL	PESO DEL TRACTOR Kg	TOTAL
Neumáticos	0.098	0.50	4.90E-02
Aceite de motor	0.199	0.50	9.95E-02
Papel	0.068	0.50	3.40E-02

La reparación (REP), es la cantidad de material empleado en la reparación de la maquinaria durante su vida útil (Asman (2001)). Los factores de reparación estimados se muestran en la tabla 30.

Tabla 30: factores para el cálculo del suplemento de reparación de la maquinaria Agrícola, utilizada en la producción del cultivo de tomate.

ITEMS	FACTOR	Kg/Ha	REPARACION
Factor de reparación de los tractores	0.45	0.47	0.21
Factor de reparación de los utensilios agrícolas	0.34	307.70	104.62
Factor de reparación de los vehículos de transporte	0.11	3.33	0.37

Los datos correspondientes al consumo de combustibles de cada operación cultural se han determinado en función del peso y la potencia del tractor utilizado, siguiendo los criterios de (Martínez G. 2006).

En la tabla 31 se presenta la cantidad de maquinaria, utensilios y combustible necesario para cada operación cultural de los tratamientos aplicados, por unidad de superficie y por unidad funcional.

Tabla 31: combustible utilizado por la maquinaria en las operaciones culturales realizadas en el cultivo de tomate, por unidad de superficie y por unidad funcional.

UTENSILIOS	COMBUSTIBLES		
	L.ha-1	L.kg-1	
Motocultor	2.52	9.0E-06	Gas Oil (Diesel)
Remolque+tractor	6.0	2.2E-05	Gas Oil (Diesel)
Sulfatadora	0.22	7.9E-07	Gasolina

L.ha-1 = Litros por hectárea.

L.kg-1 = Litros por kilogramo.

Tabla 32: energía utilizada por la pulverizadora en las operaciones culturales realizadas en el cultivo de tomate.

MAQUINARIA	kW	HORAS	kWh	kWh/kg	MJ/kg
Pulverizadora	2.2	900	1980	7.1E-03	2.6E-02

1.0 kilo watt-hour (kWh) = 3.6 MJ

Tabla 33: resumen de la cantidad de material total requerido, por la maquinaria, para realizar las operaciones culturales por ha y por kg de tomate.

MAQUINARIA	FABRICACION (FAB)		MANTENIMIENTO (MNT)		REPARACION (REP)		CMTR
	kg.ha ⁻¹	kg.kg ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.kg ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.kg ⁻¹	
Motocultor	1.20	4.30E-06					4.3E-06
Remolque + tractor	3.80	1.36E-05	1.83E-01	1.24E-06	5.91E-01	4.02E-06	1.9E-05
Sulfatadora	0.89	3.19E-06					3.2E-06
Pulverizadora	306	1.10E-03			1.05E+02	7.12E-04	1.8E-03

D) Cosecha.

La cosecha se inició el 14 de Diciembre del 2006 y finalizó el 22 de mayo del 2007, se realizaron de 2 a 3 cortes por semana y la cosecha se realizó en forma manual, después de la cosecha se realizó la respectiva clasificación de los frutos por su tamaño y calidad, súper, mediana, pequeño y rechazo, la producción se depositó en cajas de polietileno de alta densidad, HDPE, de 1.9 Kg. de peso y con capacidad para 25 kg. de tomates por caja (unos 215 tomates por caja). Se supone que cada caja se reutiliza 19 veces, teniendo un total de 20 rotaciones, valor estándar establecido para las cajas de recolección de PEAD en (Ministerio de Medio Ambiente, 2005). Este valor se deberá considerar en el cálculo de la UF. Además se utiliza un carro cuatro ruedas de doble asa de 61 x 82 cm.



Fotografía 11. Cajas de Polietileno utilizadas para cosechar tomate



Fotografía 12. Producción de tomate en cajas de Polietileno HDPE

Rendimiento del cultivo de tomate.

El rendimiento del cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero parral, utilizando el sustrato de picón (cultivo en hidroponía) es de 279000 kg/ha (279 TM/ha) y en condiciones de invernadero multitunel con sustrato de lana de roca 279000 kg/ha (279 TM/ha) respectivamente.

Tabla 34: producción comercial y destino de la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas, España.

PRODUCCIÓN COMERCIAL	Kg/m²	27.9
Superficie del cultivo	m ²	13,578.0
Producción del cultivo	Kg	378,826.2
MERCADO	KILOGRAMOS	PORCENTAJE
Local	64,400.5	17
Exportación	314,425.7	83
TOTAL	378,826.2	100
DESTINO		
Róterdam (Holanda)	182,366.9	58
Southampton (Inglaterra)	132,058.8	42
TOTAL	314,425.7	100

En la **Tabla 34:** la producción obtenida del cultivo de tomate en el invernadero parral, es de 27.9 kilogramos por metro cuadrado y la producción total fue de 378,826.2 kilogramos en una superficie de 13,578.0 metros cuadrados, de los cuales el 17% se comercializa y se consume dentro de la misma isla y el 83%, se destina para la exportación, siendo el principal destino Rotterdam Holanda y Southampton Inglaterra.

La producción total en el invernadero multitunel fue de 27.9 kilogramos por metro cuadrado, en un área de 18,603.0 metros cuadrados, obteniendo una producción total de 519,023.7 kilogramos. También se comercializa a los mismos lugares que la producción obtenida en el invernadero parral.



Fotografías 13 Planta y producción de tomate, en invernadero



Fotografías 14 Frutos de tomate,

3.2.2.2. PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES.

En la tabla 35: se presentan la dosificación utilizada en la producción del cultivo de tomate, dichas aplicaciones fueron hechas durante el ciclo del cultivo de tomate en el invernadero.

Tabla 35: tipo de fertilizante y dosis utilizados en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España.

FERTILIZANTE	CARACTERÍSTICAS	DOSIS Kg/m ⁻²	DOSIS Kg/Ha.
Nitrato cálcico	15.7% N	0.1139	1139.0
Nitrato cálcico	25% CaO	0.1984	1984.0
Nitrato Potásico	13% N	0.0506	506.0
Nitrato Potásico	46% K ₂ O	0.1792	1792.0
Nitrato amónico	34.5% N	0.0011	11.0
Sulfato potásico	50% K ₂ O	0.1225	1225.0
Sulfato magnesio	16% MgO	0.0516	516.0
Calbit	N	0.0009	9.0
Calbit	CaO	0.0017	17.0
Cloruro de Calcio	Ca	0.0600	600.0

Tabla 36: diferentes clases de fertilizantes aplicados en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España.

FERTILIZANTE	FORMULA	INVERNADERO PARRAL KG · M ⁻²	INVERNADERO MULTITÚNEL KG · M ⁻²
Nitrato potásico	KNO ₃	0.3896	0.3896
Nitrato cálcico	Ca(NO ₃) ₂	0.7349	0.7349
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	0.0033	0.0033
Sulfato potásico	K ₂ SO ₄	0.2451	0.2451
Sulfato de magnesio	Mg ₂ SO ₄	0.3224	0.3224
Cloruro de Calcio	Cl ₂ Ca	0.0600	0.0600
Calbit	Calbit	0.0213	0.0213
Hidromix	Hidromix	0.0642	0.0642
Ripen k	Ripen k	0.0071	0.0071

a) Emisiones de fertilizantes.

El cálculo de las emisiones de los fertilizantes se ha realizado a partir de:

La concentración de Nitrógeno (N) aportada por cada fertilizante en la producción del cultivo de tomate en invernadero. El contenido en N para los fertilizantes minerales se determina por relación estequiométrica y disolución de la concentración.

A efectos de análisis de los impactos, la emisión de nutrientes a causa de los fertilizantes tendrá importancia en las categorías en que se contabilizan las emisiones de Amoniac (NH₃), Oxido Nitroso (N₂O), Oxido de Nitrógeno (NO_x), Nitrógeno (N₂) al aire y Nitratos (NO₃) al agua. No se han contabilizado las emisiones de P y de metales pesados.

El cálculo de las diferentes emisiones se ha realizado teniendo en cuenta los siguientes criterios tabla 37.

- Amonio (NH₃) al aire:
 - a) Se encuentra en estudios experimentales realizados en Suiza una emisión del 50% del nitrógeno aplicado en forma de amonio para abonos orgánicos sólidos y líquidos. Se asume una proporción de nitrógeno amónico respecto del nitrógeno total del 50% para abonos líquidos y del 20% para abonos sólidos, para el compost, (Menzi, 1995)¹.

¹ Mencionado en (Audsley, 1997)

- b) Para las soluciones de nitrógeno, se emite el 2.5% del total de N aportado (Asman, 1992) en (Audlsey, 1997).
- c) Para fertilizantes minerales de tipo nitrato amónico y NK N, se emite el 2.0% del total de N aportado (Asman, 1992) en (Audlsey, 1997)

- Desnitrificación (N_2) al aire:
 - a) La desnitrificación produce principalmente N_2 . El método alemán asume que el 4% de las emisiones son en forma de monóxido dinitrógeno (N_2O), de acuerdo con los datos de (Goossensen & Meewissen, 1990), mencionado en (Audsley, 1997).
 - b) Monóxido de dinitrógeno (N_2O) al aire:
 - c) En la bibliografía se recogen diferentes métodos. Las conclusiones del grupo de trabajo del ciclo de nitrógeno en LCI (Bentrup & Küesters, 2000, Weidema & Meeusen, 2000), basándose en la guía publicada por Climate Change Indicador Panel (IPCC, 1997), aconsejan la utilización del factor 1.25% del total de nitrógeno (N) aportado menos lo absorbido por el cultivo

- Óxidos de nitrógeno (NO_x) al aire:
 - a) Del total de emisiones de monóxido dinitrógeno (N_2O), se considera que el 10% serán emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), (Audsley, 1997).

- Lixiviación de Nitratos (NO_3) al agua:
 - a) En la producción del cultivo de tomate, en los invernaderos parral y multitunel se utilizaron los sustratos lana de roca y picón, en estos invernaderos normalmente se recogen los lixiviados y todo el suelo esta cubierto por plástico, que evita que los lixiviados se vallan directamente al suelo.

Tabla 37: emisiones de los fertilizantes, emitidas al aire en la producción del cultivo de tomates bajo condiciones protegidas, en las Palmas, España.

EMISIONES AL AIRE	EMISIONES	NH ₃ -N g m ⁻²	N ₂ O-N g m ⁻²	NO _x -N g m ⁻²	N ₂ g m ⁻²
Nitrato de calcio	KNO ₃	1.5E+00	6.3E-01	6.3E-02	
Nitrato de potasio	Ca(NO ₃) ₂	3.4E+00	1.4E+00	1.4E-01	
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	3.4E-02	1.4E-02	1.4E-03	
Calbit	Calbit	2.6E-02	1.1E-02	1.1E-03	
TOTAL g N m ⁻¹	TOTAL g N m ⁻²	5.0E+00	2.1E+00	2.1E-01	0.00E+00

En la tabla 37 se presentan las emisiones generadas por los fertilizantes, en la producción del cultivo de tomate al aire, ya que no se consideran los metales pesados, ya que el cultivo es en sustrato en bandejas y por lo tanto no se producen emisiones en el suelo y al agua por que tenemos la producción en sustrato.

3.2.2.3. CONTROL FITOSANITARIO (PESTICIDAS.)

Según Pozo Vives, 2002, citado por Antón 2004, desde que existe la agricultura el hombre ha luchado continuamente contra aquellos organismos que pueden afectar a la producción agrícola y los métodos de lucha han ido evolucionando

Para el control de enfermedades se han utilizado diferentes fungicidas: ver tabla 39, de esa forma se previno y controló, los posibles daños ocasionados principalmente por *Phytophthora infestans* y *Alternaria solani*. Las principales enfermedades que atacan al cultivo de tomate:

Ceniza u oidio, podredumbre gris, botritis, podredumbre blanca, mildiu, alternariosis del tomate, fusarium, Verticilium, damping-off, bacterias y virus.

En 1,997 es cuando comienza el descenso de la superficie cultivada de tomate en Canarias, que se intensifica a partir del año 1,999, cuando el conocido como *virus de la cuchara* (TYLCV) comienza a causar estragos en el cultivo, cuyas consecuencias todavía se encuentran presentes actualmente. Con la intención de paliar los efectos del mencionado virus, los agricultores tomateros se han visto obligados a recurrir al cultivo de nuevas variedades que presenten resistencia o tolerancia al virus. Estas variedades, además de tener

un elevado precio, no alcanzan los rendimientos de cultivo de las últimas variedades no tolerantes, como Daniela o Thomas.

En el año 2002, la situación se agravó más, con la llegada de la bacteria *Clavibacter michiganensis*, lo que provocó otra reducción importante en la producción de aquella campaña. (Libro Verde del tomate Canario 2004).

Otras alteraciones

Podredumbre apical fruto, golpe de sol, rajado de frutos, carencias de nutrientes

Control de plagas. (Insecticidas)

Se controlaron las plagas del follaje con diferentes productos siendo los principales. Spinosad, jabón potásico, buprofezin, pimetrozina y fenpiroximato respectivamente, las dosis y la maquinaria utilizada se pueden ver en la tabla 38.

Dentro de las plagas más importantes que afectan en la producción del cultivo de tomate tenemos:

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*)

Los daños directos (amarillamientos y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Los daños indirectos se deben a la proliferación de neegrilla sobre la melaza que excreta la mosca blanca, manchando y depreciando los frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas. Otros daños indirectos se producen por la transmisión de virus.

Pulgón (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*, etc.)

Forman colonias y se alimentan chupando la savia de los tejidos. Los síntomas son deformaciones y abolladuras en las hojas de la zona de crecimiento. Debido a las excretas prolifera el hongo Neegrilla. También transmiten virus.

Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Es un ácaro que se puede ver con lupa o fijándose muy cerca con buena vista. Se desarrolla en el envés de las hojas causando decoloraciones, punteaduras o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas. Con mayores poblaciones se produce

deseccación o incluso defoliación. El calor y la baja humedad relativa favorecen el desarrollo de esta plaga.

Vasate (*Aculops lycopersici*)

Es otro tipo de ácaro mucho menos frecuente que la Araña roja que se da en el cultivo de invernaderos. Síntomas: bronceado o herrumbre primero en el tallo y posteriormente en las hojas e incluso frutos. Evolucionan de forma ascendente desde la parte basal de la planta. Aparece por focos, le favorece el calor y la baja humedad ambiental.

Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas, dejando un aspecto plateado en los órganos afectados que luego se necrosan. El daño indirecto es el que acusa mayor importancia y se debe a la transmisión del Virus del bronceado del tomate (TSWV). Generalmente se localizan mucho en flores una forma de saber si existe en la plantación es sacudiendo alguna flor en la palma de la mano para ver si hay o no.

Plusia Orugas de lepidópteros

Spodoptera exigua, *Spodoptera litorales*, *Heliothis armigera*, *Chrysodeisis chalcitos*, *Autographa gamma* (*Plusia*)

Los daños son causados por las larvas al alimentarse de hojas y frutos. Los adultos son polillas nocturnas que no hacen nada.

Tabla 38: tipos de pesticidas utilizados en el control de plagas y enfermedades en la producción de tomate, bajo condiciones protegidas, en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, Islas Canarias, España.

FITOSANITARIOS EMPLEADOS	CARACTERÍSTICAS	DOSIS	MAQUINARIA EMPLEADA
INSECTICIDAS			
BIOLEAT 50	Jabón Potásico	10.0 cc/L	Sulfatadora
SPINTOR	Spinosad	0.2 cc/L	Sulfatadora
SPINTOR	Spinosad	0.2 cc/L	Bomba Tratamiento
MAESTRO	Buprofezin	0.6 g/L	Bomba Tratamiento

PLENUM	Pimetrozina	1.2 g/L	Bomba Tratamiento
FLASH	Fenpiroximato	0.12 cc/L	Bomba Tratamiento
FUNGICIDAS			
DACONIL 50	Clortalonil	2.5 g/L	Bomba Tratamiento
TAMBOR	Triadimenol	0.25 a 0.4 cc/L	Bomba Tratamiento
ORTIVA	Azoxystrobin	0.8 cc/L	Bomba Tratamiento
SYSTHANE	Miclobutanil 12.5%	0.6 cc/L	Bomba Tratamiento
AZUFRE MOJABLE	Azufre	3.0 g/L	Bomba Tratamiento
SYSTHANE FORTE	Miclobutanil 24%	0.3 cc/L	Bomba Tratamiento
TRICHOMIC	Trichodermas	4.0 cc/L	Bomba Tratamiento
COPPER PRO DF 50	Oxicloruro de cobre	4.0 g/L	Bomba Tratamiento
FRUPICA	Mepanipirim	1.0 g/L	Bomba Tratamiento
SCALA	Pirimetanil 40%	2.0 cc/L	Bomba Tratamiento
PREVICUR ENERGY	Fosetil 31% Propamocarb 53%	0.12 cc/L	Riego Hidropónico
BIOLEAT	Jabón potásico	10.0 cc/L	Bomba Tratamiento
ACARICIDAS			
NORVAN	Fenbutestan	0.5 cc/L	Sulfatadora
APOLO	Clofentezin	0.3 cc/L	Sulfatadora
AZUFRE MOJABLE	Azufre	3.0 g/L	Bomba Tratamiento
FERTILIZANTE FOLIAR			
CANARY FUNG	Fe, Mn, Microorganismos	2.5 cc/L	Bomba Tratamiento
PHYTO FOS-K	Fosfito potásico	3.0 cc/L	Bomba Tratamiento
CANARY BOT	Fe, Mn, Microorganismos	2.5 cc/L	Bomba Tratamiento
MICROMIX-WELGRO	Microelementos	2.0 g/L	Bomba Tratamiento
BIOCLEAN	Potasio y Comp. orgánicos	0.31 cc/L	Riego Hidropónico
ENRAIZANTE			
PLANTON	Enraizante	0.31 cc/L	Riego Hidropónico
PLANTON	Enraizante	0.32 cc/L	Riego Suelo
PLANTON	Enraizante	0.4 cc/L	Riego

En la tabla 39, se presenta un resumen de las entradas y salidas, que se obtuvieron en el proceso de producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo condiciones protegidas en la comunidad de Vecindario en las Palmas Gran Canaria, dentro de los principales entradas conocidas a la naturales tenemos los siguientes insumos, semillas, plántulas, fertilizantes y pesticidas. Las principales entradas a la tecnósfera tenemos los combustibles Diesel, Gasolina y electricidad.

En cuanto a la infraestructura de los invernaderos utilizados en la producción del cultivo de tomate, las principales entradas y salidas de productos y sub productos a la tecnósfera tenemos: acero, polietileno, sustratos, policarbonato, PVC, maquinaria agrícola etc.

Y dentro de las principales emisiones emitidas al aire tenemos Amonio, óxido de nitrógeno, monóxido dinitrógeno, al recurso suelo, nitrógeno, fósforo y potasio.

Tabla 39: entradas y salidas en la producción del cultivo de tomate.

KNOWN GREENHOUSE TO TECHNOSPHERE PRODUCTS AND CO-PRODUCTS ENTRADAS CONOCIDAS A LA TECNOSFERA, PRODUCTOS Y CO-PRODUCTOS		
RESIDUOS		
INVERNADERO	Acero	Ecoinvent
	Hierro	Ecoinvent
	PDPE	Ecoinvent
	Polietileno PE	Ecoinvent
	Hormigón	Ecoinvent
	<i>Picón</i>	Ecoinvent
	<i>Rock wool</i>	Ecoinvent
	Hilo deltex PE	Ecoinvent
	Malla antiinsectos PE	Ecoinvent
	Policarbonato	Ecoinvent
SISTEMA DE RIEGO	Plástico	Ecoinvent
	PVC	Ecoinvent
	PE (Piquetas)	Ecoinvent
	PE (Goteros)	Ecoinvent
	PE (Micro tubos)	Ecoinvent
MAQUINARIA	Tractor	Ecoinvent
	Pulverizadora	Ecoinvent
	Sulfatadora	Ecoinvent
	Motocultor	Ecoinvent
INPUTS		
Known input from nature (resources), Entradas conocidas a la naturaleza (recursos)		
Nombre: Insumos	Semillas (plántulas)	Ecoinvent
	Fertilizantes	Ecoinvent
	Pesticidas	Ecoinvent
<i>Known input from technosphere (Materials/fuell)</i>		
Entradas conocidas a la tecnósfera (Materiales/Combustibles)		
Nombre:	Gasolina	Ecoinvent
	Diesel	Ecoinvent
Known inputs from technosphera (Electricity/heat)		
Entradas conocidas a la tecnósfera (Electricidad/calor)		
Nombre: Electricidad	Electricidad	Ecoinvent
RESIDUOS		
Emissions to air. Nombre: Emisiones al aire.		
	Amonio (NH ₃)	Ecoinvent

	Oxido de nitrógeno (NO _x)	Ecoinvent
	Monóxido dinitrógeno (N ₂ O)	Ecoinvent
Emissions to soil. Nombre: Emisiones al suelo.		
	Nitrógeno, Fósforo y Potasio	

3.2.3. TRANSPORTE UTILIZADO.

En la tabla 40 se presenta el tipo de transporte, utilizado para trasladar los diferentes materiales usados en la construcción de los invernaderos parral e invernadero multitunel, también se dan a conocer los lugares de donde proceden los diferentes materiales, así como las distancias recorridas. La producción de tomate canario tiene dos destinos diferentes, un porcentaje se destina para el consumo local y el otro para exportación.

Tabla 40: tipos de transporte, distancias recorridas y medios de transporte utilizado para trasladar los materiales para la producción del cultivo de tomate en las Islas Canarias España.

PRODUCTOS A TRANSPORTAR	LUGAR DE PROCEDENCIA	MEDIOS DE TRANSPORTE	DISTANCIA (Km)	TIPO DE DATO	FUENTE
Marco, estructura de acero	Murcia España	Barco ^a	2,500	ERD	ICIA
Marco, estructura de acero	Puerto	Trailer ^b	35	ERD	ICIA
Sistema de riego	Compania de Microriego	van ^c	5	ERD	ICIA
Sustrato	Cantera	van	25	ERD	ICIA
Bandejas de sustrato	Murcia	Barco	2,000	ERD	ICIA
Fertilizantes	Israel/Proveedor local	Barco /van	5,000/25	ERD	ICIA
Cajas de cosecha	Puerto	trailer	35	ERD	ICIA
Cajas de exportación					
Producción de tomate	Southampton (Inglaterra)	Barco	3,119	ERD	ICIA
Producción de tomate	Rotterdam (Holanda)	Barco	2,793	ERD	ICIA
Producción de tomate	Subasta	van	5	ERD	ICIA
Residuos	Vertedero	van	10	ERD	ICIA

a: en barcas buque. Contenedor: 5.8 m de largo; 2,720 Kg de peso; 27,760 Kg de carga Máxima.

b: Remolque 6,800 Kg de peso.

c: Van Toyota Dyna: 1,655 Kg de peso, 3,000 Kg de carga máxima.

En las tabla 41 y 42 se describen las cantidades de materiales utilizados para la construcción de los invernaderos tipo parral y multitunel, cantidad de materiales e insumos utilizados en la producción del cultivo de tomate, los tipos de transporte usado y la cantidad de la producción que su destino fue para la venta en el mercado local y para el mercado internacional, los materiales, la producción y los insumos fueron trasladados en diferentes medios de transporte, siendo los principales el transporte terrestre (trailer) y el transporte marítimo (Barco).

Tabla 41: cantidad de materiales utilizado en la construcción de los invernaderos en kilogramos y toneladas por kilogramo de productos transportados para la producción del cultivo de tomate. Invernadero parral.

ELEMENTOS	MEDIOS DE TRANSPORTE	CANTIDAD EN KGS.	CANTIDAD tkm	CANTIDAD 1 kg^{-1} tkm	TIPO DE DATOS	FUENTE
Estructura de marco de acero + container 2500 y 35 km en trailer	Barco	43807.9	8.908	0.00891	ERD	ICIA
	Trailer	43807.9	0.140	0.00014	ERD	ICIA
Estructura de plástico ^b	Barco	8,284.0	11.783	0.01178	ERD	ICIA
	Trailer	8,284.0	0.173	0.00017	ERD	ICIA
Sistema de riego ^c Total PE+PVC+PP	van	818.5	0.001	0.0000010	ERD	ICIA
Sustrato PICON	van	263,952.0	1.342	0.00134	ERD	ICIA
Bandejas de sustrato	Barco	13,231.4	9.052	0.00905	ERD	ICIA
	Trailer	13,231.4	0.166	0.00017	ERD	ICIA
Fertilizantes	Barco	25,014.6	320.95	0.32095	ERD	ICIA
	Trailer	25,014.6	1.599	0.00160	ERD	ICIA
Cajas de cosecha	Barco	1,450.2	1.179	0.00118	ERD	ICIA
	Trailer	1,450.2	0.017	0.00002	ERD	ICIA
Cajas de exportación	Cartón	31,401.0	1,099.0	0.00203		
Mercado Local	Tomate	64,400.5	0.823	0.00082	ERD	ICIA
Mercado Southampton (Inglaterra)	Barco	182,366.9	1,454.565	1.45457	ERD	ICIA
	Trailer	182,366.9	16.322	0.01632	ERD	ICIA
Mercado Rotterdam (Holanda)	Barco	132,058.8	943.214	0.94321	ERD	ICIA
	Trailer	132,058.8	11.820	0.01182	ERD	ICIA

Tabla 42: cantidad de materiales utilizado en la construcción de los invernaderos en kilogramos y toneladas por kilogramos de productos transportados para la producción del cultivo de tomate. Multitunel.

ELEMENTOS	MEDIOS DE TRANSPORTE	CANTIDAD EN KGS.	CANTIDAD tkm	CANTIDAD 1 kg^{-1} tkm	TIPO DE DATOS	FUENTE
Estructura de marco de acero ^a	Barco	170,982.7	788.1	0.78812	ERD	ICIA
	Trailer	170,982.7	12.1	0.01209	ERD	ICIA
Estructura de plástico ^b	Barco	7,361.4	37.3	0.03726	ERD	ICIA
	Trailer	7,361.4	0.8	0.00083	ERD	ICIA
Sistema de riego ^c Total PE+PVC+PP	Barco	5,244.4	26.5	0.02654	ERD	ICIA
	Trailer	5,244.4	0.7	0.00069	ERD	ICIA
Sustrato Lana de Roca + plástico	Barco	14323.7	8.0	0.00795	ERD	ICIA
	Trailer	14323.7	16.4	0.01638		
Fertilizantes	Barco	34,407.9	164.6	0.16464	ERD	ICIA
	Trailer	34,407.9	2.2	0.00223	ERD	ICIA
Cajas de cosecha	HDPE	1,987.0	2.0	0.00002	ERD	ICIA
Cajas de exportación	Cartón	31,401.0	2.0	0.00203	ERD	ICIA
Mercado Local	Tomate	88,234.0	0.8	0.00081	ERD	ICIA
Mercado Southampton (Inglaterra)	Barco	249,858.0	1436.8	1.43684	ERD	ICIA
	Trailer	249,858.0	16.1	0.01612	ERD	ICIA
Mercado Rotterdam (Holanda)	Barco	180,931.7	931.7	0.93172	ERD	ICIA
	Trailer	180,931.7	11.7	0.01168	ERD	ICIA

a: los pilares, cables, ventiladores.

b: Porta canales, Mulching, pantallas, enrejados anillos, rafia.

c: Sistema de riego PE incluye materiales (tubería primaria, secundaria de tuberías, Drippers, picos, micro tubos, tanques), materiales de PVC (tubo, electro válvulas) y componentes de acero (inyectores y bombas).

En las Fotografías 15 y 16 se observan las cajas de cartón que se utilizan para trasladar la producción de tomates que se dedica a la exportación.



Fotografías 15 Cajas de cartón utilizadas para trasladar los tomates.



Fotografías 16 Cajas con frutos de tomate.

3.2.4. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DEL INVERNADERO PARRAL.

Se debe tener en cuenta en la asignación de cargas sobre el invernadero la parte proporcional de la gestión de los residuos que se llevará a cabo al final de su vida útil. La mayor parte de los materiales que lo componen se destinan a vertedero, en este caso, son transportados al vertedero más cercano a la zona de estudio que dista a 10 km.

Tabla 43: cantidad de materiales transportados hasta el vertedero, después de su vida útil en el invernadero parral 12 naves.

ELEMENTOS	MEDIOS DE TRANSPORTE	CANTIDAD EN KGS.	CANTIDAD tkm	CANTIDAD AD $1 \text{ kg}^{-1} \text{ tkm}$	TIPO DE DATOS	FUENTE
Estructura de acero	VAN	38,512.9	0.031	0.000031	ICIA	ICIA
Total plásticos LDPE, PE, PVC, RF.	VAN	8,957.6	0.032	0.000032	ERD	ICIA
Bandejas de Sustrato picón	VAN	13,231.4	0.027	0.000027	ERD	ICIA
Transporte de residuo verde, materia húmeda	VAN	33872.0	0.866	0.00087	ERD	ICIA

3.2.5. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DEL INVERNADERO MULTITUNEL

Se debe tener en cuenta en la asignación de cargas sobre el invernadero la parte proporcional de la gestión de los residuos que se llevará a cabo al final de su vida útil. La mayor parte de los materiales que lo componen se destinan a vertedero, en este caso, son transportados al vertedero más cercano a la zona de estudio (10 km).

Tabla 44: cantidad de materiales transportados hasta el vertedero, después de su vida útil en el invernadero multitunel 18 naves.

ELEMENTOS	MEDIOS DE TRANSPORTE	CANTIDAD EN KGS.	CANTIDAD tkm	CANTIDAD AD 1 kg ⁻¹ tkm	TIPO DE DATOS	FUENTE
Estructura de acero	VAN	154,924.8	0.090	0.000091	ICIA	ICIA
Total plásticos LDPE, PE, PVC, RF.	VAN	14,079.0	0.043	0.000043	ERD	ICIA
Sustrato en bolsa <i>Rock wool</i>	VAN	14,323.7	0.056	0.000056	ERD	ICIA
Transporte de residuo verde, materia húmeda	VAN	45870.0	0.800	0.00085	ERD	ICIA

En las fotografías siguientes se observan los residuos de las plantas de tomate, que son depositadas en los vertederos.



Fotografías 17 Residuos de biomasa del cultivo de tomate, en el suelo.



Fotografías 18 Residuos de biomasa del cultivo de tomate, en cajas de plástico.

CAPITULO IV.

4. ANALISIS DE IMPACTOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Siguiendo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, la etapa de análisis de impactos incluye las fases de clasificación y caracterización de las entradas y salidas del sistema recogidas en el inventario. El análisis de impactos se ha llevado a cabo mediante el programa informático SimaPro v. 7.0, que identifica y clasifica las diferentes cargas ambientales y pondera su importancia dentro de las diferentes categorías de impacto consideradas y el método de evaluación utilizado en este estudio fue el CML 2 baseline 2000.

4.1. INFRAESTRUCTURA DEL INVERNADERO PARRAL (ESTRUCTURA Y EQUIPO AUXILIAR).

Al realizar el Análisis del Ciclo de Vida del sub sistema infraestructura del invernadero parral Figura 4, se observan que las mayores cargas ambientales son aportadas por el acero, en las categorías de Potencial Agua dulce eco Toxicidad Acuática, 93.1%. Esta alta contribución se da principalmente durante la formación de los tubos de acero debido a la emisión de metales al agua, principalmente de Níquel, causante de la contaminación del proceso de este material.

Diferentes procesos contribuyen en la categoría potencial de Toxicidad Humana, principalmente el galvanizado, en particular de las piezas pero también del alambre en un 78.4%. En ambos procesos es la emisión de Arsénico al aire la causante de la contaminación. Potencial eco toxicidad Marino Acuática 73.7%, Potencial Oxidación Fotoquímica 53.5%. Potencial de Eutrofización 36.8%. En la categoría de Potencial Eco toxicidad terrestre, es el proceso galvanizado especialmente el de los pilares el que presenta una mayor contribución, dentro de este proceso es la emisión de Mercurio al aire el cual contribuye en un 36.8% al total del proceso, tanto en el galvanizado de los pilares como del alambre. Potencial de Acidificación 33.3%, Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico 29.4%, Potencial de Calentamiento Global 27.2%, Agotamiento de Recursos Abióticos 16.2 %.

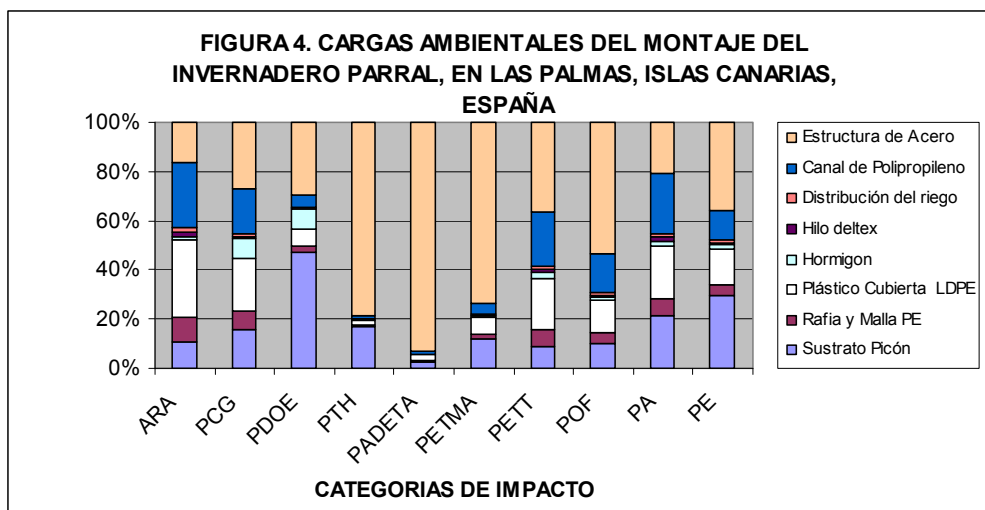
El sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, fue el picón, el cual está aportando las cargas ambientales en las categorías siguientes Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico 47.4%, seguido por la Eutrofización 29.6 %, Acidificación 21.5%, Potencial de Toxicidad Humana 17.3%, Calentamiento Global 16.0%, Potencial eco

toxicidad Marino Acuática 11.8%, Recursos Abióticos 10.6%. Oxidación fotoquímica 9.9% y la Toxicidad Terrestre un 8.7%.

El polietileno que se utiliza para cubrir todo el invernadero esta generando cargas ambientales en las categoría de Agotamiento de Recursos Abióticos 31.4%, Calentamiento Global 21.8%, Acidificación 21.4%, Toxicidad Terrestre 20.9%, Eutrofización 14.1%, Oxidación Fotoquímica 13.3%.

El canal de polipropileno afecta a las siguientes categorías Recursos Abióticos 26.4%, Acidificación 24.6%, eco Toxicidad Terrestre el 21.8%. Calentamiento Global 17.7%, Oxidación fotoquímica 15.9% y el potencial de Eutrofización un 11.8% .

La rafia y malla afecta a las categorías de impacto siguientes: Recursos Abióticos 10.7%, Calentamiento Global 7.1%, Acidificación 9.9%, y las otras categorías en menor porcentaje.



En la tabla 45. En todas las categorías la principal contribución se produce por la fabricación del acero, a continuación se presentan las emisiones en unidades equivalentes y porcentajes para cada una de las categorías contempladas en la presente investigación. En la categoría de Agotamiento de Recursos Abióticos (recursos naturales), las emisiones son causadas especialmente por el consumo de petróleo 37.7%, gas natural 30.0% y por el carbón el 27.8% en el invernadero parral.

En la categoría del potencial del Calentamiento Global las principales emisiones son generadas por Dióxido de Carbono en un 89.5%. Para el caso de la categoría de Potencial de Ozono Estratosférico el 88.4% de las emisiones son generadas por Metano. En la categoría de

Toxicidad Humana diferentes procesos contribuyen principalmente la fabricación del acero, las principales emisiones son generadas por el Cromo 71.1% y por los Hidrocarburos Aromáticos poli cíclicos 6.5%, estas emisiones son al aire, siendo las causantes de la contaminación.

En la categoría del potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática el 69.6% de las emisiones son generadas por el Níquel, el 20.2% por el Cobalto. En la categoría de potencial de eco toxicidad marino acuática las emisiones generadas principalmente por el Níquel en un 52.7% y por el Cobalto el 28.4%, siendo estos los elementos que están provocando las cargas ambientales.

En todos los procesos, en la categoría de potencial de eco toxicidad terrestre el 35.8% de las emisiones son generadas por Cromo VI, el 34.3% por el Mercurio, el 11.3% por el Vanadio y el 8.2% por el Arsénico, todas estas emisiones son generadas al aire. Y en la categoría de potencial de oxidación fotoquímica, el 53.6% por el Dióxido de Carbono, que es el que está generando las emisiones al aire, el 28.1% por el Dióxido del Azufre y el 5.8% por el metano fósil.

Finalmente en la categoría de Acidificación, las emisiones del Oxido de Azufre contribuyen el 67.6%, mientras que el 29.0% por los Óxidos de Nitrógeno. En la categoría de Eutrofización el 56.4%, de las emisiones son generadas al aire por los Óxidos de Nitrógeno, el 29.1% por los fosfatos al agua.

Tabla 45: valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas estructura del invernadero parral.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	1.7E-04	100
(r) Petroleo	6.4E-05	37.7
(r) Gas Natural	5.1E-05	30.0
(r) Carbón	4.7E-05	27.8
Otras sustancias	7.6E-06	4.5
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	1.5E-02	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	1.4E-02	89.5
(a) Metano (CH ₄)	1.1E-03	7.3
Otras sustancias	4.9E-04	3.2

Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	3.10E-10	100
(a) Metano (CH ₄)	2.74E-10	88.4
(a) Etanol	2.08E-11	6.7
Otras sustancias	1.52E-11	4.9
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	1.6E-02	100
(a) Cromo	1.2E-02	71.1
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	1.0E-03	6.5
Otras sustancias	3.6E-03	22.4
Potencial de Agua dulce Ecotoxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.6E-03	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	3.2E-03	69.6
(w) Cobalto	9.4E-04	20.2
Otras sustancias	4.8E-04	10.2
Potencial de eco toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.3E+00	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	2.2E+00	52.7
(w) Cobalto	1.2E+00	28.4
Otras sustancias	8.0E-01	18.9
Potencial de Toxicidad Terrestre (kg 1,4-DB eq)	4.0E-05	100
(a) Cromo IV	1.0E-05	35.8
(a) Mercurio	1.4E-05	34.3
(a) Vanadio	4.5E-06	11.3
(a) Arsénico	3.3E-06	8.2
Otras sustancias	4.2E-06	10.4
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	5.0E-06	100
(a) Monóxido de Carbono	2.7E-06	53.6
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.4E-06	28.1
(a) Metano fósil	2.9E-07	5.8
Otras sustancias	6.3E-07	12.5
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	6.0E-05	100
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	4.1E-05	67.8
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	1.7E-05	29.0
Otras sustancias	1.9E-06	3.2
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	8.0E-06	100
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	4.5E-06	56.4
(w) Fosfato	2.3E-06	29.1
(w) Demanda Química de Oxígeno.	4.5E-07	5.6
Otras sustancias	7.1E-07	8.9

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

4.2. INFRAESTRUCTURA DEL INVERNADERO MULTITUNEL (ESTRUCTURA Y EQUIPO AUXILIAR).

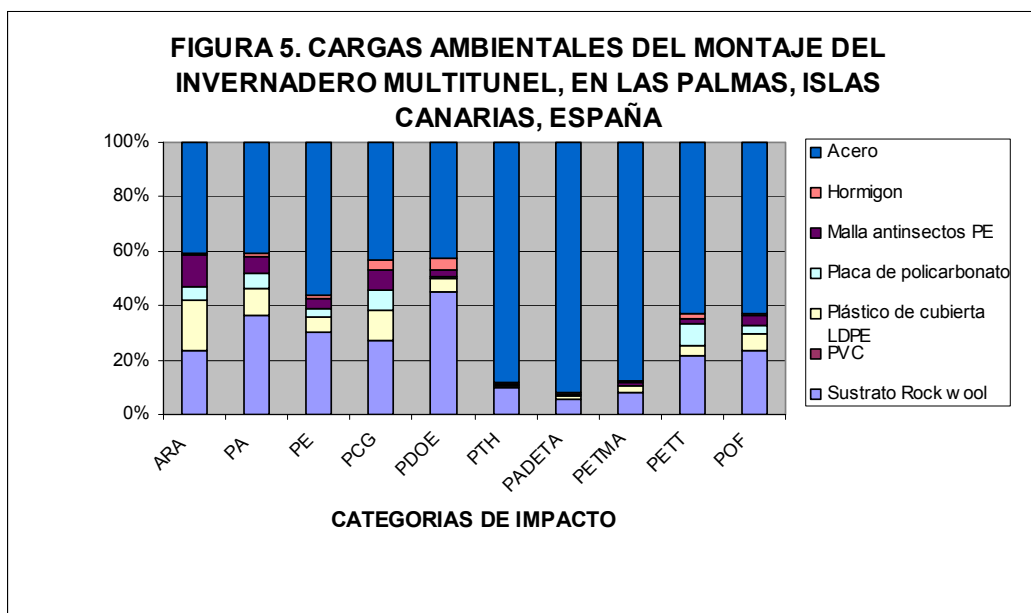
Los resultados del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del sub sistema infraestructura del invernadero multitunel se observan en la Figura 5 que las mayores cargas ambientales son aportadas por el acero en las categorías de Potencial Agua dulce eco Toxicidad Acuática en un 92.2%, la categoría potencial de Toxicidad Humana un 88.1%, el Potencial eco Toxicidad Marino Acuática el 87.8%, la categoría de Potencial Eco Toxicidad Terrestre un 62.8%, el Potencial Oxidación Fotoquímica 62.7%, la Eutrofización 56.1%, el Calentamiento Global 43.4 %, el Ozono Estratosférico 42.4%, la Acidificación 40.8%. y el Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos un 40.7%.

Esta alta contribución se da principalmente durante la formación de los tubos de acero debido a la emisión de metales al agua, principalmente de Níquel, causante de la contaminación del proceso de este material.

En la categoría potencial de Toxicidad Humana la principal contribución se da por el galvanizado, en particular de las piezas pero también del alambre en un 88.1%. En ambos procesos las emisiones producidas en esta categoría son generadas por los metales pesados al aire que son los causantes de la contaminación. En las categorías de Potencial eco toxicidad Marino Acuática y Potencial Eco Toxicidad Terrestre, es el proceso galvanizado especialmente el de los pilares el que presenta una mayor contribución, dentro de este proceso es la emisión de Mercurio al aire el cual contribuye en un alto porcentaje al total del proceso.

Otro elemento que presenta cargas ambientales en todas las categorías de impacto es el sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate, que es la lana de roca (*Rock wool*), siendo la cataría de impacto del Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico, la mas afectada con un 45.3%, seguida por las categorías de Acidificación 36.5%, Eutrofización 30.0%, Calentamiento global 27%, Agotamiento de los Recursos Abióticos y potencial de Oxidación Fotoquímica con un 23.6% cada una, el Potencial de eco Toxicidad Terrestre 21.6% y las otras categorías con un porcentaje inferior al 10%.

El Plástico que se utilizó para cubrir el invernadero multitunel fue el polietileno de baja densidad (LDPE), el cual esta afectando a las categorías de Agotamiento de los Recursos Abióticos y Calentamiento global en un porcentaje de 18.2 y 11.4 respectivamente.



En la Tabla 46 se tienen los valores de contribuciones de las emisiones generadas por los materiales utilizados en la infraestructura del invernadero multitunel en todas las categorías de impacto, en cuanto a los Recursos Abióticos el 47.0% corresponde al petróleo, un 40.5% al carbón y el 9.0% al gas. Mientras que el 88.3% de las emisiones son generadas por Dióxido de Carbono, en la categoría de Calentamiento Global. En cambio en la categoría del potencial de Ozono Estratosférico el 91.1% de las emisiones son por el Metano Bromotrifluoro, Halón 1301.

En la categoría del potencial de Toxicidad Humana, el 58.6% de las emisiones son generadas al aire por los metales pesados, siendo ellos los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos 24.1%, el 15.0 % por el Arsénico, 13.2% y el Cromo VI el 6.0%.

En la categoría del potencial de agua Dulce eco Toxicidad Acuática el 38.7% de las emisiones son generadas por el Níquel, un 27.3% por el Vanadio, el 11.1% el Cobre y el 7.45 por el Cobalto. En la categorías de potencial de eco toxicidad Marino Acuática el 17.8% de las emisiones al recurso agua son generadas por el Níquel, el 17.3% por Vanadio, 15.5% Barito, el 6.9% Bario, el 6.7% por el Belirio y el 6.3% por el Cobalto. Mientras que las emisiones emitidas al aire son generadas por el Berilio y Vanadio en un 6.4 y 5.8% respectivamente.

La categorías de potencial de eco Toxicidad Terrestre, el 69.2% de las emisiones son producidas al aire por el Mercurio, el 13.1% por Cromo VI al suelo. En la categoría de potencial Formación Fotoxidantes, las emisiones son producidas por el Dióxido de Azufre en un 39.6%, le sigue el Monóxido de Carbono 32.7% y con un porcentaje menor el Metano 7.4%.

El 51.2% de las emisiones en la categoría de Acidificación, son generadas por los Óxidos de Nitrógeno y el 38.7% por el Dióxido de Azufre. Mientras que para el caso de la categoría de Eutrofización el 85.3% de las emisiones son generadas al aire por los Óxidos de Nitrógeno.

Tabla 46: valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas estructura del invernadero multitunel.

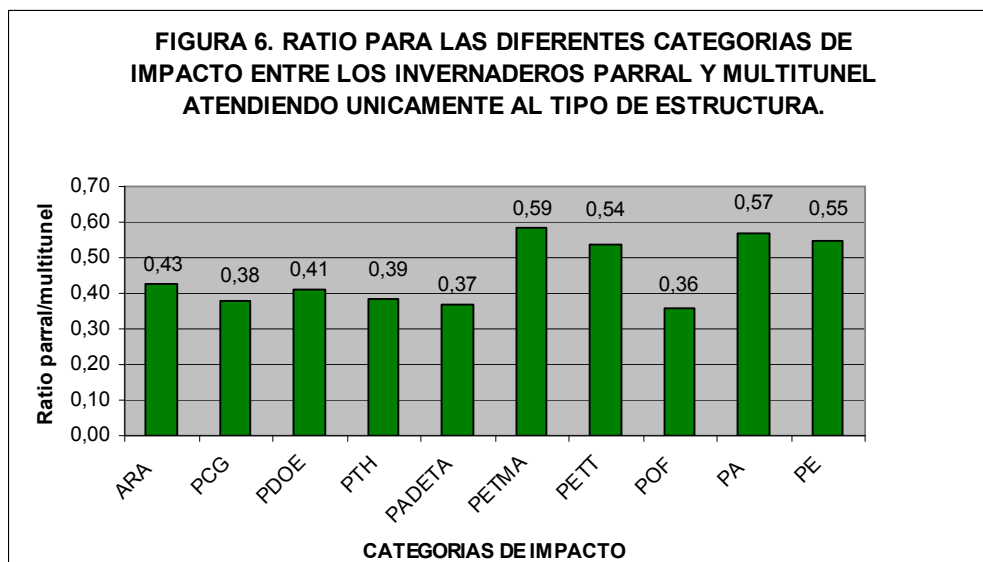
CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	6.0E-03	100
(r) Petroleo	2.8E-03	47.0
(r) Carbón	2.4E-03	40.5
(r) Gas	5.4E-04	9.0
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	2.6E+00	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	2.3E+00	88.3
Otras sustancias	3.1E-01	11.7
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	8.6E-08	100
(a) Metano bromotrifluoro, Halón 1301	7.8E-08	91.1
Otras sustancias	7.7E-09	8.9
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	2.5E-01	100
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	6.0E-02	24.1
(a) Arsénico (As)	3.8E-02	15.0
(a) Cromo	3.3E-02	13.2
(a) Talium	1.5E-02	6.0
Otras sustancias	1.0E-01	41.7
Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.0E-02	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	1.6E-02	38.7
(w) Vanadio	1.1E-02	27.3
(w) Cobre (Cu ⁺ , Cu ⁺⁺)	4.5E-03	11.1
(w) Cobalto	3.0E-03	7.4
Otras sustancias	6.3E-03	15.6
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	5.9E+02	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	1.1E+01	17.8
(w) Vanadio	1.1E+01	17.3
(w) Bario	9.5E+00	15.5
(w) Bario	4.2E+00	6.9
(w) Berilio	4.1E+00	6.7
(w) Cobalto	3.8E+00	6.3
(a) Berilio	3.8E+00	6.2
(a) Vanadio	3.5E+00	5.8

Otras sustancias	1.1E+01	17.5
Potencial de Toxicidad Terrestre (kg 1,4-DB eq)	4.5E-03	100
(a) Mercurio	3.1E-03	69.2
(s) Cromo IV	5.9E-04	13.1
Otras sustancias	8.0E-04	17.7
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	1.7E-04	100
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	6.8E-05	39.6
(a) Monóxido de carbono (CO)	5.6E-05	32.7
(a) Metano fósil	1.3E-05	7.4
Otras sustancias	3.5E-05	20.3
Potencial de Acidificación del Aire. (kg SO₂ eq)	4.4E-03	100
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	2.3E-03	51.2
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.7E-03	38.7
Otras sustancias	4.4E-04	10.1
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	6.9E-04	100
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	5.9E-04	85.3
Otras sustancias	1.0E-04	14.7

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

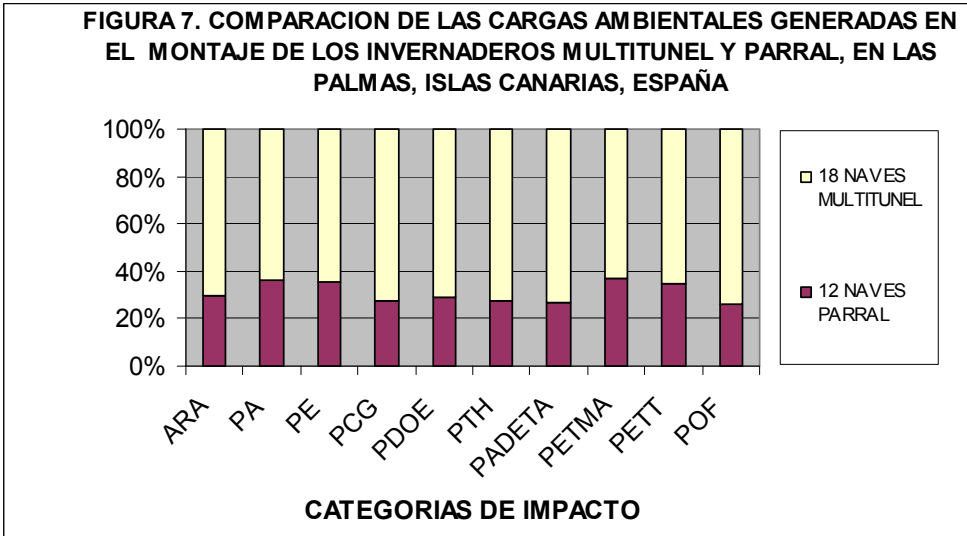
4.3. RATIO PARA LAS DIFERENTES CATEGORIAS DE IMPACTO ENTRE INVERNADERO PARRAL E INVERNADERO MULTITUNEL ATENDIENDO UNICAMENTE AL TIPO DE ESTRUCTURA.

En la Figura 6, se puede observar los ratios entre los dos tipos de invernaderos parral y multitunel, al hacer la comparación de las dos estructuras, la mayoría de las categorías de impacto se mantienen entre los rangos de 0.36 a 0.59. Siendo inferior a 1, en todas las categorías de impacto en el invernadero parral. Lo que nos dice que el invernadero multitunel es mas contaminante ambientalmente que el invernadero parral, en lo que se refiere a la infraestructura y esto es debido a que en la construcción del invernadero multitunel se utilizan mas materiales y por las dimensiones que son mayores.

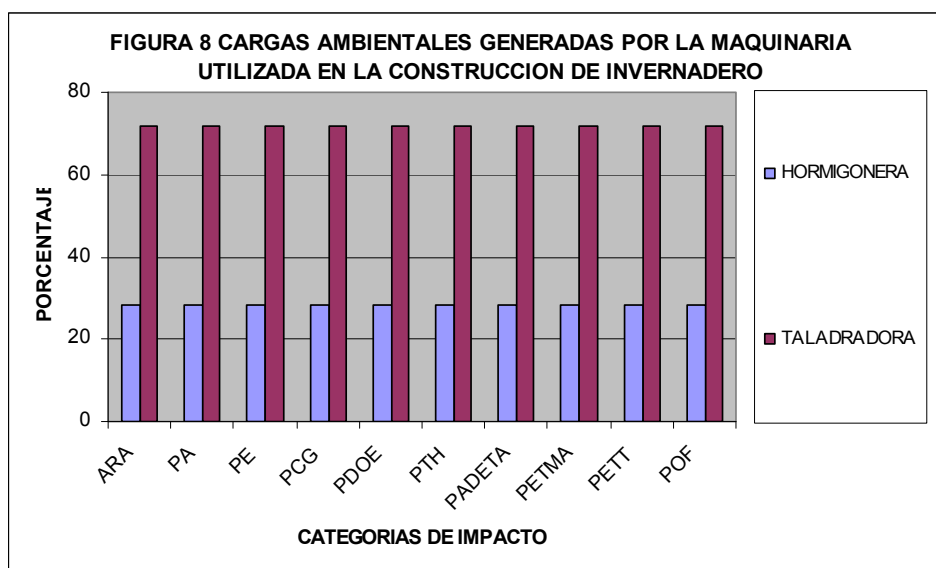


En la Figura 7, se presentan los resultados en donde se comparan los dos tipos de montaje de la infraestructura de los invernaderos parral y multitunel.

La categoría de Potencial de Oxidación Fotoquímica es la que presenta la mayor carga ambiental para el invernadero multitunel por unidad funcional con un 73.7% y el invernadero parral 26.3%, seguido por el Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática en un 73.2% corresponde al invernadero multitunel y un 26.8% al invernadero parral. Potencial de Toxicidad Humana el 72.2% de las cargas ambientales corresponden al invernadero multitunel y el 27.8% al invernadero parral. En la categoría Calentamiento Global las cargas ambientales generadas por el invernadero multitunel son el 72.6% y por el invernadero parral el 27.4%. En la categoría de destrucción de Ozono Estratosférico el 71.0% corresponde al invernadero multitunel y el 29.0% al invernadero parral. Agotamiento de los Recursos Abióticos el 70.0% corresponde al invernadero multitunel y el 30.0% al invernadero parral. La categoría del Potencial de Eco toxicidad Terrestre el 65.0% del impacto es generado por el invernadero multitunel y el 35.0% por el invernadero parral, en cuanto a la categoría de Eutrofización el 64.6% corresponde al invernadero multitunel y el 35.4% al parral, Potencial eco toxicidad Marino acuática el 63.0% es generado por el invernadero multitunel y el 37.0% el invernadero parral, en la categoría de potencial de Acidificación el 63.7% corresponde al invernadero multitunel y el 36.3% al invernadero parral. Se concluye que el invernadero parral ambientalmente es mejor que el invernadero multitunel que está generando mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto estudiadas y es debido a la cantidad de acero utilizada en la construcción ya que este tipo de estructuras son mas sofisticadas que el parral que es mas liviano.



4.3.1. CARGAS AMBIENTALES PRODUCIDAS POR LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCION DE LOS INVERNADEROS PARRAL Y MULTITUNEL.



En la figura 8, se tienen las cargas ambientales que genera la maquinaria que se utilizó para la construcción de los invernaderos. La taladradora es la que presenta las mayores cargas ambientales, en todas las categorías con un 72%, mientras que la hormigonera presenta el 23% restante en todas las categorías de impacto. Esta diferencia es principalmente por el alto consumo de energía de la taladradora ($3.2E-03$ MJ/Kg.) y el consumo de la hormigonera es ($1.2E-03$ MJ/Kg.), ésta es debido a la cantidad de horas que se utilizó la taladradora y la hormigonera (350 y 175 horas respectivamente).

En la tabla 47 se presentan los valores absolutos en unidades equivalentes de las emisiones generadas por la maquinaria utilizada en la construcción de los invernaderos parral y multitunel. La categoría de potencial los Recursos Abióticos el 60.7% son generadas por el Carbón, el 23.9% por el gas natural y el 14.6% por el petróleo. En la categoría de Calentamiento Global, el 94.9%, de las emisiones son generadas por Dióxido de Carbono y el 5.1% restante por otras sustancias.

El 43.4% de las emisiones son generadas en la categoría del potencial de Ozono Estratosférico son producidas por el Metano bromotrifluoro, Halón 1211, el 40.4% por el Metano bromochlorodifluoro, Halón 1301 y el 14.4% por el Etano.

En la categoría del potencial de Toxicidad Humana, el 19.4% de las emisiones son generadas por los Hidrocarburos Aromáticos poli cíclicos afectando al aire, el 11.3 % por el Arsénico, el 10.8% por el Níquel al aire, el 7.9% por el Cromo VI al aire y el 7.6% al Vanadio al agua.

El 57.2% de las emisiones son generadas por el Vanadio en la categoría del potencial de agua dulce eco Toxicidad Acuática, el 19.4% por el Berilio y el 8.2% por el Níquel. En la categorías de potencial de eco Toxicidad Marino Acuática el 44.7% de las emisiones son generadas por el berilio, el 21.4% Vanadio al agua, el 10.2% del Vanadio al aire y el 7.8% por el Fluoruro de Hidrogeno y para la categorías de potencial de eco Toxicidad Terrestre el 45.8% de las emisiones son generadas al aire por el Mercurio y el 44.4% por el Vanadio.

En las categorías de Oxidación Fotoquímica y Acidificación las emisiones son generadas por el Dióxido de Azufre al aire 89.9% y 82.4% respectivamente. Para la categoría de Acidificación del aire el 82.4% de las emisiones son generadas por el Dióxido de Azufre y el 17.4% por los Óxidos de Nitrógeno.

En la categoría de Eutrofización el 90.6% de las emisiones son generadas al aire por los Óxidos de Nitrógeno y el 9.4% por otras sustancias.

Tabla 47: valores totales de las categorías y contribución de las emisiones más importantes generadas por la maquinaria utilizada para la construcción de los invernaderos parral y multitunel.

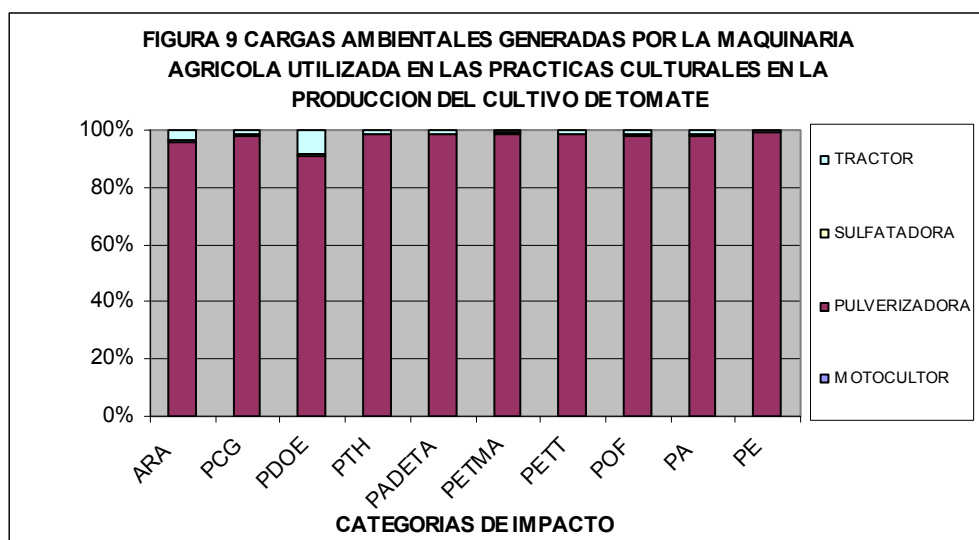
CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	2.4E-06	100
(r) Carbón	1.5E-06	60.7
(r) Gas	5.7E-07	23.9
(r) Petroleo	3.5E-07	14.6
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	3.3E-04	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	3.1E-04	94.9
(a) Otras sustancias	1.7E-05	5.1
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	1.8E-11	100
(a) Metano bromochlorodifluoro, Halón 1211	7.7E-12	43.4
(a) Metano bromotrifluoro, Halón 1301	7.2E-12	40.4
(a) Etano	2.6E-12	14.4

Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	5.1E-05	100
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	9.9E-06	19.4
(a) Arsénico (As)	5.8E-06	11.3
(a) Níquel (Ni)	5.5E-06	10.8
(a) Cromo VI	4.1E-06	7.9
(w) Vanadio	3.9E-06	7.6
Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	1.9E-05	100
(w) Vanadio	1.1E-05	57.2
(w) Berilio	3.7E-06	19.4
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	1.6E-06	8.2
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.9E-02	100
(w) Vanadio	1.1E-02	21.4
(w) Berilio	2.2E-02	44.7
(a) Fluoruro de Hidrogeno	3.9E-03	8.0
(a) Vanadio	5.0E-03	10.2
Potencial de Toxicidad Terrestre (kg 1,4-DB eq)	6.2E-07	100
(a) Mercurio	2.8E-07	45.8
(a) Vanadio	2.7E-07	44.4
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	1.1E-07	100
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.0E-07	89.9
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	3.1E-06	100
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	3.1E-06	82.4
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	5.4E-07	17.4
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	1.6E-07	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	1.4E-07	90.6
Otras sustancias	1.4E-08	9.4

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

4.4. PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE.

4.4.1. CARGAS AMBIENTALES GENERADAS POR EL USO DE LA MAQUINARIA AGRICOLA, EN EL PROCESO DE PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE.



La maquinaria agrícola utilizada en la producción del cultivo de tomate en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias España, fue la siguiente: tractor, sulfatadora, pulverizadora y el motocultor, en la figura 9 podemos observar que la pulverizadora es la que está generando el mayor impacto ambiental en todas las categorías de impacto y la categoría con menor porcentaje es potencial de destrucción de Ozono Estratosférico 90.9% y la categoría con el mayor porcentaje es la Eutrofización con 99.4%.

La pulverizadora se utilizó para realizar las aplicaciones de productos fitosanitarios durante el periodo de producción del cultivo de tomate, en donde se controló plagas, enfermedades y aplicaciones de fertilizantes al cultivo, con un total de 900 h/Ha, por lo tanto el consumo de energía fue de $1.4E-02$ kWh/kg. ($4.8E-02$ MJ/kg).

El uso del tractor agrícola está afectando a las categorías de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico en un 8.6%, Agotamiento de los Recursos Abióticos en un 4.3% y Potencial Eco toxicidad terrestre menos del 3%. En cuanto a la sulfatadora y el motocultor no se observan las cargas ambientales que están generando.

En la tabla 48, se observa el porcentaje y las emisiones generadas por toda la maquinaria agrícola que se utilizó en la producción del cultivo de tomate, en la comunidad de Vecindario, las Palmas, Gran Canaria, España.

En la categoría de Agotamiento de los Recursos Abióticos, el Carbón está generando los mayores consumos, seguido por el petróleo y el gas, y esto es debido al uso de la pulverizadora en todo el proceso productivo del cultivo de tomate.

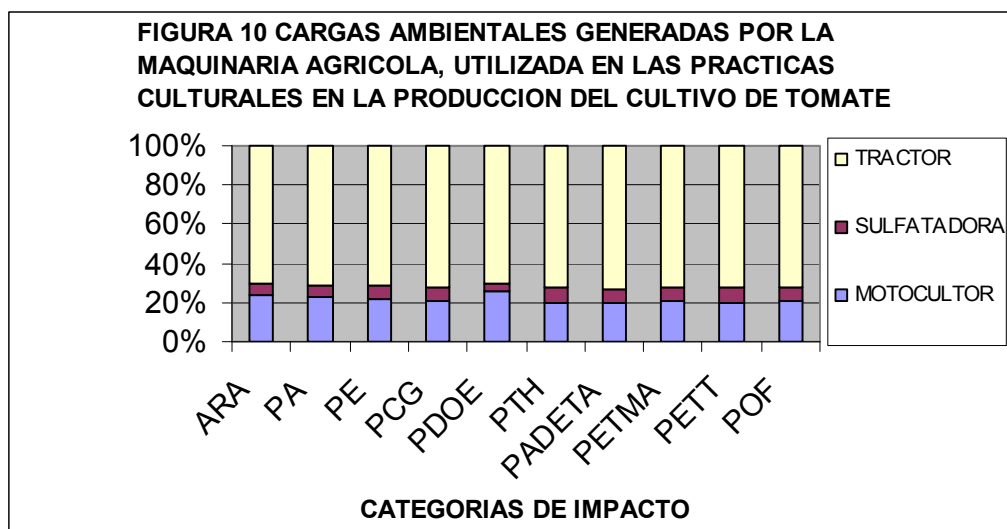
En la categoría del Potencial del calentamiento global 93.5% de las emisiones son generadas por el Dióxido de Carbono (CO₂), siendo el principal flujo detectado. En la categoría de Ozono estratosférico por el Metano bromotrifluoro, Halón 1301 y Metano bromochlorodifluoro, Halón 1211 (57.9 y 29.8% respectivamente). En la categoría de toxicidad humana el Cromo VI produce las mayores emisiones 71.4%, Potencial de Agua dulce Eco Toxicidad Acuática 63.4%, Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática Mercurio 39.7%, Cromo VI al aire 17.5%, Cromo VI al suelo 12.7%, En la categoría de Potencial de Formación Fotooxidantes el Dióxido de Azufre produce 42.6%, Monóxido de Carbono. 42.1%, en la Categoría de Acidificación el Oxidos de Azufre genera el 78.2% de las emisiones. En la categoría de Eutrofización los Oxidos de Nitrogeno producen el 59% de las emisiones al aire y los fosfatos el 29.6% al agua.

Tabla 48: valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes generadas por la maquinaria agrícola en producción del cultivo de tomate.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	1.4E-04	100
(r) Carbón	8.4E-05	60.0
(r) Petroleo	2.9E-05	20.3
(r) Gas	2.6E-05	18.7
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	1.8E-02	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	1.7E-02	93.5
(a) Metano	9.1E-04	5.1
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	1.1E-09	100
(a) Metano bromotrifluoro, Halón 1301	6.6E-10	57.9
(a) Metano bromochlorodifluoro, Halón 1211	3.4E-10	29.8
(a) Etanol	1.1E-10	9.9

Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	2.0E-02	100
(a) Cromo VI	1.5 E-02	71.4
(a) Arsénico (As)	1.6E-03	7.7
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	1.2E-03	5.6
Potencial de Agua dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.2E-03	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	2.7E-03	63.4
(w) Cobalto	7.6E-04	18.0
(w) Vanadio	4.6E-04	10.9
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.8E+00	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	1.9E+00	38.7
(w) Cobalto	9.7E-01	20.4
(w) Berilio	6.0E-01	12.6
(w) Vanadio	4.4E-01	9.2
(w) Barite	2.6E-01	5.4
Potencial de Toxicidad Terrestre (kg 1,4-DB eq)	7.4E-05	100
(a) Mercurio	2.9E-05	39.7
(a) Cromo VI	1.3E-05	17.5
(s) Cromo VI	9.4E-06	12.7
(a) Vanadio	8.3E-06	11.3
(a) Arsénico	7.3E-06	9.8
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	7.0E-06	100
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	3.0E-06	42.6
(a) Monóxido de Carbono.	3.0E-06	42.1
Otras sustancias	1.1E-06	15.3
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	1.0E-04	100
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	8.1E-05	78.2
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	1.2E-05	11.5
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	9.5E-06	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	5.6E-06	59.0
(w) Fosfatos	2.8E-06	29.6
Otras sustancias	1.1E-06	11.4

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua. (s) emisiones al suelo



En la Figura 10, se pueden ver las cargas ambientales generadas por el resto de la maquinaria utilizada en la producción del cultivo de tomate, aquí se decidió eliminar la pulverizadora del análisis, que es la que está provocando las mayores cargas ambientales y podemos observar que dentro de la maquinaria el tractor agrícola es el que presenta las mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto consideradas en este estudio, siendo la categoría de impacto del Potencial Agua dulce eco Toxicidad Acuática la más afectada en un 72.8% y la categoría con menor impacto es el Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico con un 69.9%.

Las cargas ambientales que está generando el motocultor son en menor escala, siendo la categoría de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico la más afectada con un 25.9% y la categoría menos afectada es el Potencial Agua dulce eco toxicidad acuática en un 19.3% y las otras categorías se encuentran entre este rango. Y por último las cargas ambientales que se generan por el uso de la sulfatadora afectan a todas las categorías de impacto en un porcentaje inferior al 7.9%

En la Tabla 49, se tienen las emisiones y el porcentaje generadas en cada una de las diferentes categorías de impacto que son afectadas por el uso del tractor agrícola que se utilizó en la producción del cultivo de tomate, en la categoría del Potencial de Recursos Abióticos las mayores consumos son generadas por la utilización del Diésel o gas oil (Petróleo) que lleva el tractor como combustible para realizar todas las prácticas agronómicas en el cultivo de tomate, seguidos por el carbón y el gas natural, mientras que en la categoría del Calentamiento Global es el Dióxido de Carbono el que genera las mayores emisiones al aire.

En el caso de las categorías del Potencial de Ozono Estratosférico y Toxicidad Humana las mayores emisiones son generadas al aire por los metales pesados (CFC-11), Metano, Cromo VI, Arsénico y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Mientras que en las categorías de Agua dulce Eco Toxicidad Acuática y Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática las emisiones son producidas por el Níquel, Cobalto y Vanadio.

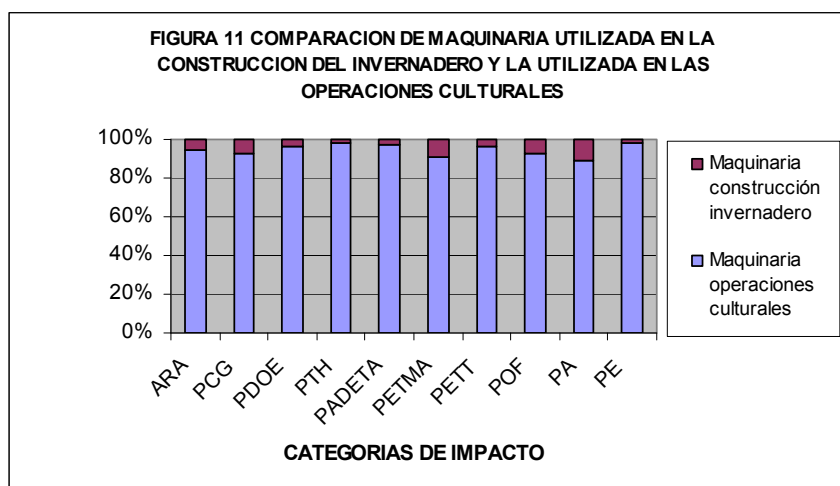
En la categoría de Toxicidad Humana las emisiones emitidas al aire son producidas por el Mercurio, Cromo VI, Vanadio y Arsénico, mientras que las emisiones de Cromo VI fueron al suelo. En la categoría de Formación Fotooxidantes, las mayores emisiones son generadas por el Monóxido de Carbono y el Dióxido de Azufre, en la categoría de Acidificación las emisiones son por los Oxidos de Azufre y Oxidos de Nitrógeno y en la categoría de Eutrofización son los Oxidos de Nitrógeno, fosfatos y la demanda Química de Oxígeno son los que están produciendo las mayores emisiones.

Tabla 49: valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes generadas por el tractor agrícola en producción del cultivo de tomate.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	2.0E-06	100
(r) Petroleo	1.1E-06	57.9
(r) Carbón	5.6E-07	28.6
(r) Gas	2.0E-07	10.2
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	1.4E-04	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	1.3E-04	92.2
(a) Metano	8.4E-06	5.9
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	2.7E-11	100
(a) Metano bromotrifluoro, Halón 1301	2.4E-11	88.7
(a) Metano bromochlorodifluoro, Halón 1211	2.1E-12	7.8
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	2.3E-04	100
(a) Cromo VI	1.6E-04	70.7
(a) Arsénico (As)	1.6E-05	7.2

(a) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	1.3E-05	5.7
Potencial de Agua dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.3E-05	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	2.9E-05	67.5
(w) Cobalto	8.2E-06	19.0
(w) Vanadio	2.8E-06	6.5
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	5.1E-02	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	2.0E-02	39.6
(w) Cobalto	1.1E-02	20.6
(w) Barite	8.5E-03	16.6
(w) Vanadio	2.7E-03	7.2
Potencial de Toxicidad Terrestre (kg 1,4-DB eq)	7.5E-07	100
(a) Mercurio	2.8E-07	37.4
(a) Cromo VI	1.4E-07	18.8
(s) Cromo VI	1.1E-07	15.1
(a) Vanadio	6.3E-08	8.4
(a) Arsénico	7.5E-08	10.0
Potencial de Formación Fotoxidantes (kg C₂H₄)	6.5E-08	100
(a) Monóxido de Carbono.	3.3E-08	50.2
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.8E-08	27.5
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	6.4E-07	100
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	5.2E-07	76.6
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	1.2E-07	18
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	9.3E-08	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	3.8E-08	41.5
(w) Fosfatos	3.0E-08	32.8
(w) Demanda Química de Oxígeno	1.4E-08	14.8

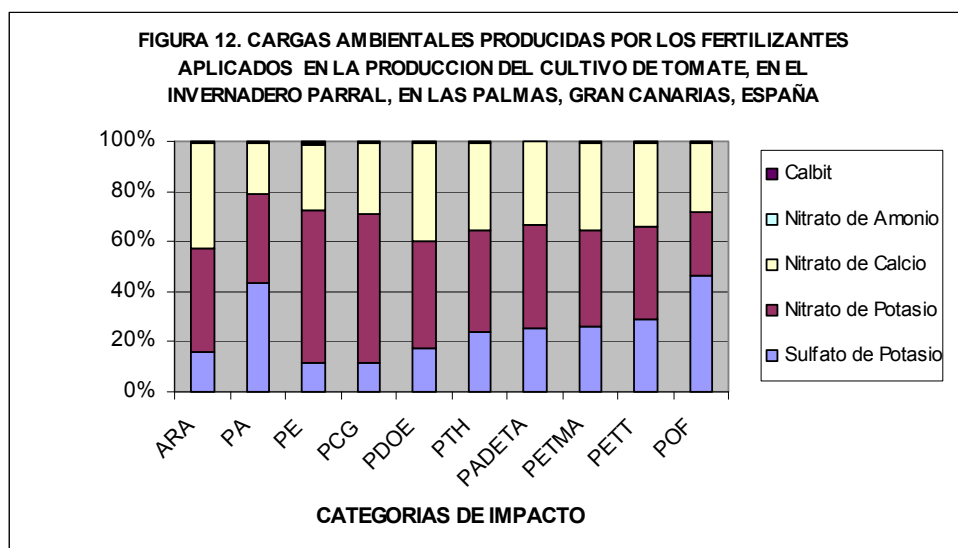
(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua. (s) emisiones al suelo



En la Figura 11 se tienen los resultados de la comparación de la maquinaria utilizada para la construcción de los invernaderos y de la maquinaria utilizada para realizar las diferentes prácticas culturales realizadas en la producción del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, Vecindario Islas Canarias, España y las mayores cargas ambientales son generadas por la maquinaria que se utiliza en las operaciones culturales que se desarrollan durante el ciclo del cultivo de tomate, afectando en todas las categorías de impacto en un 95%. En cuanto a la maquinaria que se utiliza para la construcción de los invernaderos está generando menos del 5% de las cargas ambientales en todas las categorías de impacto.

La diferencia entre los dos tipos de maquinaria radica especialmente en el uso de energía, ya que la maquinaria agrícola que se utilizó para realizar diferentes aplicaciones de fungicidas, insecticidas y fertilizantes durante el ciclo del cultivo de tomate fue superior a la energía utilizada por la maquinaria usada para la construcción de los invernaderos. En el caso de la maquinaria agrícola, el mayor consumo de energía eléctrica fue por el tiempo de uso de la pulverizadora (900 h/ha.)

4.4.2. CARGAS AMBIENTALES GENERADAS POR EL USO DE FERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE.



En la **Figura 12**. Se observan que las mayores cargas ambientales generadas por los fertilizantes en la producción del cultivo de tomate, bajo invernadero en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias, España. El fertilizante Nitrato de Potasio es el que está causando las mayores cargas ambientales en la categoría de Eutrofización en un 60.3% y la categoría de Calentamiento Global el 59.5%. De todas las categorías, la que presenta las menores cargas

ambientales es la Oxidación Fotoquímica con un 25.3%, mientras que en las otras se encuentran entre estos rangos (60.3 y 25.3%).

Las cargas ambientales asociadas al uso del fertilizante sulfato de potasio, están afectando a las categorías de Acidificación en un 43.2% y a la categoría de Oxidación fotoquímica 46.6%. La categoría del Calentamiento Global es la que presenta las cargas ambientales mas bajas con un 11.4%.

En cuanto al fertilizante Nitrato de Calcio el 41.8% está causando las mayores cargas ambientales en la categoría de Agotamiento de los Recursos Abióticos y se ve afectada debido mayormente por el consumo de las materias primas utilizados para la elaboración de los mismos.

La categoría de Agotamiento de los Recursos Abióticos, es afectada por los fertilizantes siguientes: Nitrato de Calcio 41.8%, Nitrato de Potasio 41.5% y por el Sulfato de Potasio 16.1%.

En la categoría del Potencial de Acidificación las mayores cargas son por el sulfato de potasio 43.2%, Nitrato de Potasio 36.2% y Nitrato de Calcio 19.9%.

En la categoría del Potencial de Eutrofización, los fertilizantes que están causando las mayores cargas ambientales son: Nitrato de Potasio 60.3%, Nitrato de Calcio 26.7% y el Sulfato de Potasio 11.8%.

En la categoría del Potencial del Calentamiento Global el 59.9% de las cargas ambientales es por el fertilizante Nitrato de Potasio, el 27.6% por el Nitrato de Calcio y un 11.4% por el Sulfato de Potasio.

En la Categoría del Potencial de destrucción de ozono estratosférico el fertilizante Nitrato de Potasio está generando el 42.7% de las cargas ambientales, el Nitrato de Calcio el 39.6% y el Sulfato de Potasio el 17.4%.

En la Categoría del Potencial de Toxicidad Humana el 41.0% de las cargas ambientales son producidas por el Nitrato de Potasio, el 34.8% por el Nitrato de Calcio y el 23.8% por el Sulfato de Potasio.

En las categorías de potencial de agua dulce eco toxicidad acuática, Potencial eco toxicidad Marino acuática y Potencial de eco toxicidad terrestre el fertilizante Nitrato de Potasio es el que está generando las mayores cargas ambientales (41.1, 38.7 y 37.3% respectivamente). El Nitrato de Calcio con (33.3, 35.1 y 33.6%) y el Sulfato de Potasio con (25.3, 25.8 y 28.7%). Y en la categoría de Potencial de Oxidación Fotoquímica el fertilizante sulfato de Potasio está generando el 46.6% de las cargas ambientales, el Nitrato de Calcio el 27.7% y el Nitrato de potasio el 25.3%.

En la Tabla 50, se presentan los valores totales por categorías y la contribución de las emisiones más importantes en unidades equivalentes y en porcentaje para subsistemas fertilizantes utilizados en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral. En la categoría de potencial de los Recursos Abióticos, el 60.1% del agotamiento de los recursos abióticos son generadas por el gas natural, 23.1% por el petróleo y el 12.2% por el Carbón. En la categoría de Calentamiento Global, el 47.0% de las emisiones son generadas al aire por Dióxido de Carbono y el 35.2% por el Monóxido de Dinitrógeno.

En la categoría del potencial de Ozono Estratosférico el 59.7% de las emisiones son generadas por Metano bromochlorodifluoro, halón 1211 y el 36.3% por Metano bromotrifluoro, halón 1301.

Las emisiones producidas al aire por los metales pesados (CFC-11) Cromo VI 31.6% y el 15.4% por el Arsénico que estan afectando a la categoría de impacto de Toxicidad Humana. En la categoría del potencial de Agua dulce eco Toxicidad Acuática el 45.3% de las emisiones al agua son generadas por el Níquel, el 23.2% por el Vanadio y el 10.9% por el Cobalto. Mientras que el 20.6% de las emisiones al aire son generadas por otras sustancias.

En la categoría de potencial de eco toxicidad marino acuática el 33.6% de las emisiones son generadas al aire por el Vanadio, el 16.8% de las emisiones al agua son por el Barite, el 15.0% por el Níquel, el 10.6% por el Vanadio. En la categoría de potencial de Toxicidad Terrestre el 55.0% de las emisiones generadas al aire son por el Vanadio y el 17.2% por el Mercurio.

Las mayores emisiones que afectan la categorías de potencial oxidación fotoquímica son producidas por el Dióxido de Azufre al aire en un 65.3% y el 12.2% por el Monóxido de Carbono.

En la categoría de Acidificación el 64.7% de las emisiones son generadas por el Dióxido de Azufre, el 13.1% por los Oxidos de Nitrógeno y el 12.8% por el Amoniaco. Mientras que en la categoría de eutrofización el 42.0%, de las emisiones son generadas al aire por los Óxidos de Nitrógeno, el 25.4% por el Amoniaco y el 12.3% por Nitratos.

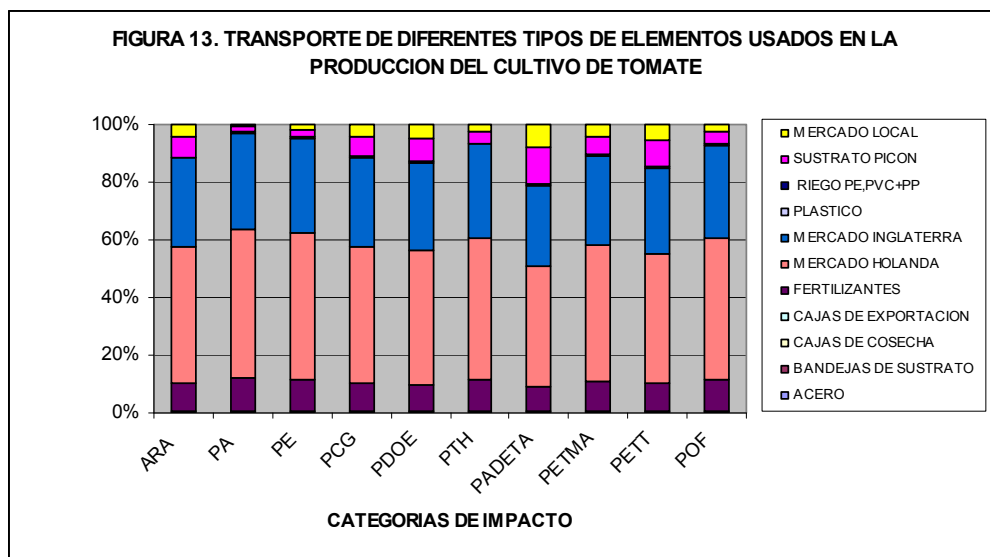
Tabla 50: valores totales de la categoría y contribución de las emisiones más importantes para subsistemas fertilizantes utilizados en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	8.6E-03	100
(r) Energía para Gas Natural	5.1E-03	60.1
(r) Energía para Petroleo	2.0E-03	23.1
(r) Energía para Carbón	1.0E-03	12.2
Otras sustancias	3.9E-04	4.6
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	1.6E+00	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂)	7.7E-01	47.0
(a) Monóxido de dinitrógeno	5.8E-01	35.2
Otras sustancias	2.9E-01	17.8
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	1.2E-07	100
(a) Metano bromochlorodifluoro, halón 1211	7.1E-08	59.7
(a) Metano bromotrifluoro, halón 1301	4.3E-08	36.3
Otras sustancias	4.8E-09	4.0
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	7.3E-01	100
(a) Cromo VI	2.3E-01	31.6
(a) Arsénico (As)	1.1E-01	15.4
Otras sustancias	3.9E-01	53.0
Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	1.1E-01	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	5.0E-02	45.3
(w) Vanadio	2.6E-02	23.2
(w) cobalto	2.6E-02	10.9
Otras sustancias	2.3E-02	20.6
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	2.3E+02	100
(a) Vanadio	7.8E+01	33.6
(w) Barite	3.9E+01	16.8
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	3.5E+01	15.0
(w) Vanadio	2.5E+01	10.6
Otras sustancias	5.6E+01	24.0
	7.8E-03	

Potencial de toxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)		100
(a) Vanadio	4.3E-03	55.0
(a) Mercurio	1.3E-03	17.2
Otras sustancias	2.2E-03	27.8
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	2.9E-04	100
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.9E-04	65.3
(a) Monóxido de Carbono	3.5E-05	12.2
Otras sustancias	6.5E-05	22.5
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	7.2E-03	100
(a) Oxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	4.7E-03	64.7
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	9.5E-04	13.1
(a) Amoníaco. (NH ₃)	9.3E-04	12.8
Otras sustancias	6.8E-04	9.4
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	8.0E-04	100
(a) Oxidos de Nitrogeno (NO _x as NO ₂)	3.4E-04	42.0
(a) Amoniaco	2.0E-04	25.4
(w) Nitrato	9.8E-05	12.3
Otras sustancias	1.6E-04	20.3

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

4.4.3. CARGAS AMBIENTALES ASOCIADAS AL TRANSPORTE MARÍTIMO Y TERRESTRE USADO PARA EL TRASLADO DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN TODO EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE TOMATE EN LAS PALMAS GRAN CANARIA, ESPAÑA, EN EL INVERNADERO PARRAL.



El tipo de transporte utilizado para trasladar todos los materiales utilizados en la infraestructura del invernadero parral y en el proceso de producción del cultivo de tomate fueron: el barco, trailer y la van Toyota. En la figura 13 se observa que en todas las categorías de impacto, las mayores cargas ambientales son generadas por el barco que es el transporte utilizado para trasladar la producción del cultivo de tomate a Holanda, que es el principal comprador de la producción Canaria. Siendo la categoría de Acidificación la mas afectada con un 51.7% y la categoría de Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática es la que presenta el menor porcentaje con un 42.1%, las demás categorías se encuentran entre estos dos rangos.

Otro destino de la producción de tomates canarios es el Mercado de Inglaterra. En este caso las cargas ambientales generadas por el transporte marítimo (barco) las cuales están afectando a la categoría de Acidificación en un 33.6% y la categoría de Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática la menos afectada con un 27.9%.

Del 100% de la producción del cultivo de tomates que se producen en los invernaderos en las Canarias tiene dos destinos: el 83% es para la exportación, mientras que el 17% se comercializa en el mercado local. Entre los dos destinos de la producción de tomates canarios, el trasladar la producción que se comercializa en el mercado Holandes es el mas impactante, que el que se comercializa al mercado Inglés y esta es debida a la diferencia de distancias que existe entre las dos ciudades que es de 326 kilómetros y también se debe al volumen que se transporta a Holanda que es mayor y representa el 58% de la exportación, mientras que el otro 42% se transporta a Inglaterra.

En cuanto a la producción y origen de los fertilizantes usados en la producción del cultivo de tomate en las Palmas Gran Canaria, estos provienen de Israel y la distancia recorrida es de 5000 kilómetros, los cuales son trasportados por barco, en la figura 13 se observa que la categoría de impacto de Acidificación es la que presenta las mayores cargas ambientales generadas por el transporte marítimo (barco) con un 11.2% y la categoría de Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática la menos afectada con un 8.4%.

Es importante ver que la distancia que se recorren para trasladar los fertilizantes es superior a la distancia que se recorre para trasladar la producción de tomates que se comercializada en los mercados de Holanda e Inglaterra y los resultados muestran que las cargas ambientales

generadas por el transporte de los fertilizantes son menores que las cargas generadas por el transporte de la producción y esto es debido a que la cantidad de kilogramos de tomates que son transportados para la comercialización es superior a la cantidad de fertilizantes transportada.

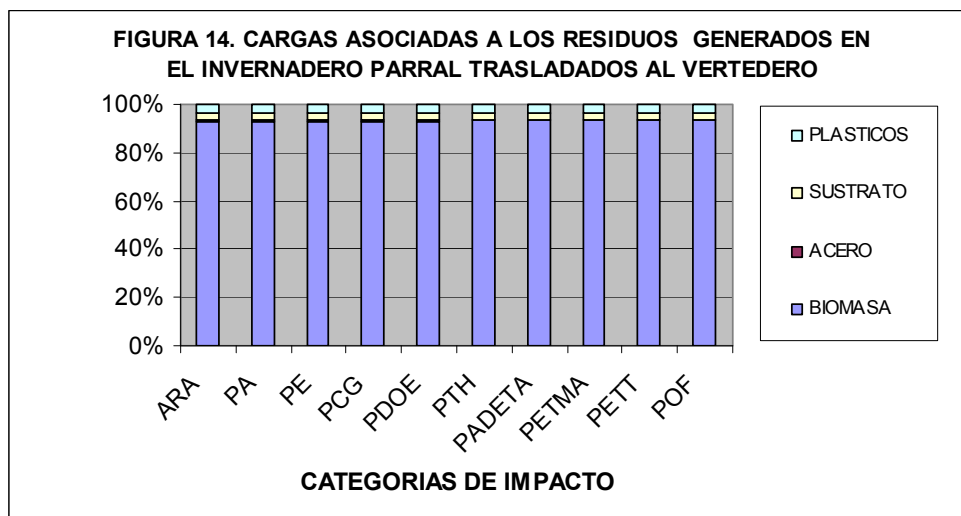
En cuanto al sustrato utilizado en la producción del cultivo de tomate en condiciones protegidas fue el Picón que es un material de origen volcánico, habiendo sido transportado desde la Cantera que es el lugar de donde se extrae el sustrato y se traslada para el lugar en donde está ubicado el invernadero parral, habiendo utilizado en un vehículo pequeño, con las siguientes características, Van Toyota Dyna de 1,655 Kg de peso, 3,000 Kg de carga máxima. Las cargas ambientales fueron en un 12.8% en la categoría de impacto Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática y 1.4% para la categoría de Acidificación. En cuanto a la comercialización del producto destinado para la venta a nivel local, se utilizó el mismo transporte terrestre y están siendo afectadas todas las categorías de impacto en una mínima cantidad, la categoría de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática es la que presenta el porcentaje más alto 7.8% y la categoría de Acidificación con el menor porcentaje 0.9%.

Tabla 51: valores totales de la categoría y porcentaje las cargas ambientales asociadas al transporte marítimo y terrestre utilizado para el traslado de los diferentes materiales para la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.

CATEGORIA DE IMPACTO	UNIDAD EQUIVALENTE	FERTILIZANTES		MERCADO HOLANDA		MERCADO INGLATERRA		PLASTICO INVERNADERO		SUSTRATO PICON		MERCADO LOCAL	
		Unidad	%	Unidad	%	Unidad	%	Unidad	%	Unidad	%	Unidad	%
ARA	kg Sb eq	2.5E-05	9.6	1.2E-04	47.0	7.9E-05	31.0	1.0E-06	0.4	1.8E-05	7.1	1.1E-05	4.3
PA	kg SO ₂ eq	7.7E-05	11.2	3.5E-04	51.7	2.3E-04	33.6	2.9E-06	0.4	9.9E-06	1.4	6.1E-06	0.9
PE	kg PO ₄ -- eq	6.7E-06	10.7	3.2E-05	50.7	2.1E-05	33.2	2.6E-07	0.4	1.6E-06	2.6	1.0E-06	1.6
PCG	kg CO ₂ eq	3.7E-03	9.7	1.8E-02	47.1	1.2E-02	31.0	1.5E-04	0.4	2.6E-03	6.9	1.6E-03	4.2
PDOE	kg CFC-11 eq	4.2E-10	9.2	2.1E-09	46.3	1.4E-09	30.6	1.8E-11	0.4	3.6E-10	7.9	2.2E-10	4.8
PTH	kg 1,4-DB eq	2.2E-03	10.7	1.0E-02	49.5	6.7E-03	32.3	8.5E-05	0.4	8.4E-04	4.0	5.1E-04	2.5
PADETA	kg 1,4-DB eq	1.1E-04	8.4	5.5E-04	42.1	3.6E-04	27.9	4.7E-06	0.4	1.7E-04	12.8	1.0E-04	7.8
PETMA	kg 1,4-DB eq	4.2E-01	9.9	2.0E+00	47.4	1.3E+00	31.1	1.7E-02	0.4	2.7E-01	6.5	1.7E-01	4.0
PETT	kg 1,4-DB eq	9.0E-06	9.3	4.3E-05	45.1	2.9E-05	29.6	3.6E-07	0.4	8.9E-06	9.2	5.4E-06	5.6
POF	kg C ₂ H ₄	2.4E-06	10.7	1.1E-05	49.3	7.4E-06	32.1	9.3E-08	0.4	9.6E-07	4.2	5.9E-07	2.6

Nota: en este apartado no se presentan los resultados del transporte terrestre y marítimo utilizado para el traslado de los diferentes materiales para la producción del cultivo de tomate del invernadero multitúnel ya que son muy similares a los descritos anteriormente para el invernadero parral.

4.4.4. CARGAS ASOCIADAS A LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE.



En la Figura 14, se tienen los resultados en donde se comparan de los diferentes residuos que se generan en todo el proceso productivo del cultivo de tomate en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias y se puede observar que el 93% de las cargas ambientales están asociados al residuo verde en todas las categorías de impacto estudiadas. Y eso es debido a la cantidad de residuos de materia verde que se lleva al vertedero, esa materia verde se seca parcialmente, teniendo un 40% de peso a la hora de ser trasladada al vertedero. Como transporte terrestre se usa la camioneta Van Toyota Dyna para llevar los residuos que tienen como destino el vertedero que está a 10 kilómetros de distancia de donde está ubicado el invernadero parral.

Con esta cantidad de residuos que son trasladados al vertedero, se puede elaborar compost que se puede utilizar en la producción hortícola y así se pueden reducir las cargas ambientales que actualmente se están generando por este residuo.

Para transportar los materiales de residuos al vertedero se recomienda el utilizar un camión mas grande y así evitar el realizar muchos viajes con la camioneta pequeña.

Los residuos de los otros materiales que se depositan en el vertedero son los plásticos, sustrato y el acero, las cargas ambientales que estos generan son menores.

Tabla 52: valores totales por categoría y contribución de las emisiones más importantes de los residuos generados en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	2.9E-05	100
(r) Oil Petroleo	2.2E-05	74.3
(r) Gas Natural	3.0E-06	10.3
Otras sustancias	4.5E-06	15.3
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	4.2E-03	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂)	4.0E-03	94.9
Otras sustancias	2.2E-04	5.1
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	5.8E-10	100
(a) Metano bromotrifluoro, halón 1301	5.5E-10	93.9
Otras sustancias	3.6E-11	6.1
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	1.4E-03	100
(a) Arsénico (As)	2.9E-04	21.7
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos	2.3E-04	17.0
(a) Cromo VI	2.0E-04	14.8
Otras sustancias	6.3E-04	46.6
Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	2.7E-04	100
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	9.2E-05	34.3
(w) Vanadio	6.2E-05	23.0
(w) zinc	6.2E-05	13.3
Otras sustancias	7.9E-05	29.5
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	4.4E-01	100
(w) Barite	1.1E-01	24.0
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	6.4E-02	14.3
(w) Vanadio	5.9E-02	13.2
(w) Berilio	5.1E-02	11.5
Otras sustancias	1.6E-01	39.3
Potencial de toxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	1.4E-05	100
(s) Cromo VI	6.0E-06	41.8
(a) Mercurio	4.2E-06	28.9
Otras substancials	4.2E-06	29.3

Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	1.6E-06	100
(a) Monóxido de Carbono	7.5E-07	48.3
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	2.1E-07	13.5
(a) Formaldehído	1.8E-07	11.4
Otras sustancias	4.2E-07	38.4
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	1.6E-05	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	7.2E-06	45.2
(a) Dioxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	5.3E-06	32.9
Otras sustancias	3.5E-06	22.0
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	2.6E-06	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	2.2E-06	82.3
Otras sustancias	4.7E-07	17.7

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

En la Tabla 52, se presentan los valores totales de las categorías y la contribución de las emisiones más importantes en unidades equivalentes y en porcentaje para los residuos que se generan en la producción del cultivo de tomate en el invernadero parral. En la categoría de potencial de los Recursos Abióticos, el 74.3% del agotamiento de estos recursos es por el consumo del petróleo, el 10.3% por el gas natural y el 15.3% por otras sustancias. En la categoría de Calentamiento Global el 94.9% de las emisiones son generadas al aire por Dióxido de Carbono (CO₂).

En la categoría del potencial de Ozono Estratosférico el 93.9% de las emisiones son generadas por Metano Bromotri-fluoro, halón 1301 y en la categoría de impacto de Toxicidad Humana las emisiones emitidas al aire son por los metales pesados (CFC-11) Arsénico 21.7%, Hidrocarburos Aromáticos Poli Cíclicos 17.0% y por el Cromo VI 14.8%.

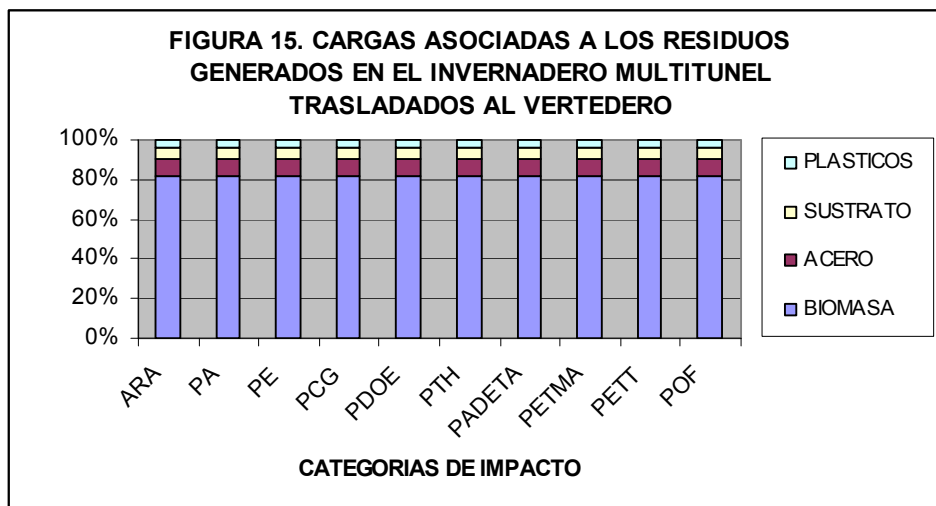
En la categoría del potencial de Agua dulce eco Toxicidad Acuática el 34.4% de las emisiones emitidas al agua son por el Níquel, un 23.0% por el Vanadio y el 13.3% por el Zinc.

En la categoría de potencial de eco Toxicidad Marino Acuática el 24.0% de las emisiones emitidas al agua son por el Barite, el 14.3% por el Níquel, el 13.2% por el Vanadio y el 11.5% por el Berilio.

En la categoría de potencial de Toxicidad Terrestre el 41.8% de las emisiones generadas al aire por el Cromo VI y el 28.9% por el Mercurio.

En la categoría de potencial Oxidación Fotoquímica el 48.3% de las emisiones emitidas al aire son por el Monóxido de Carbono, el 13.% por el Dióxido de Azufre y el 11.4% por el Formaldehído.

En la categoría de Acidificación el 45.2% de las emisiones son generadas por el Oxido de Nitrógeno y el Dióxido de Azufre en un 32.9%. Mientras que en la categoría de Eutrofización el 82.3% de las emisiones son generadas al aire por los Óxidos de Nitrógeno.



En la Figura 15, se tienen los resultados en donde se comparan de los diferentes residuos que se generan en todo el proceso productivo del cultivo de tomate en las Palmas Gran Canaria, Islas Canarias y se puede observar que el 83% de las cargas ambientales están asociados al residuo verde en todas las categorías de impacto estudiadas. Y eso es debido a la cantidad de residuos de materia verde que se transporta al vertedero, esa materia verde al igual que en el invernadero parral se seca parcialmente antes de ser trasladada al vertedero, con un 40% de peso. Como transporte terrestre se usa la camioneta Van Toyota Dyna y el vertedero está a 10 kilómetros de distancia de donde esta ubicado el invernadero multitunel.

Tabla 53: valores totales por categoría y contribución de las emisiones más importantes de residuos generados en la producción de tomate, invernadero multitunel.

CATEGORIAS DE IMPACTO	EMISIONES	PORCENTAJE
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb eq)	2.0E-06	100
(r) Oil Petroleo	1.6E-06	83.5
Otras sustancias	3.3E-07	16.5
Calentamiento Global (kg CO₂ eq)	2.8E-04	100
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂)	2.7E-04	95.3
Otras sustancias	1.3E-05	4.7
Potencial de Ozono Estratosférico (kg CFC-11)	4.4E-11	100
(a) Metano bromotrifluoro, halón 1301	4.3E-11	96.7
Otras sustancias	1.4E-12	3.3
Potencial Toxicidad Humana (kg CFC-11)	4.8E-05	100
(a) Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos	1.4E-05	28.4
(w) Barite	5.6E-06	11.6
(w) Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos	5.0E-06	10.3
Otras sustancias	2.4E-05	49.6
Potencial de Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática (kg 1,4-DB eq)	9.7E-06	100
(w) Vanadio	3.4E-06	34.9
(w) Níquel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	2.7E-06	28.3
Otras sustancias	3.6E-06	36.8
Potencial de Eco Toxicidad Marino Acuática (kg 1,4-DB eq)	2.1E-02	100
(w) Barite	7.5E-03	35.9
(w) Bario	3.8E-03	17.9
(w) Vanadio	3.3E-03	15.5
Otras sustancias	6.5E-03	30.7
Potencial de toxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	5.5E-07	100
(a) Mercurio	2.8E-07	51.3
(s) Cromo VI	1.2E-07	22.2
(a) Vanadio	5.8E-08	10.6
Otras substancials	8.7E-08	15.9
Potencial de Formación Fotooxidantes (kg C2H4)	5.1E-08	100
(a) Monóxido de Carbono	1.9E-08	37.6
(a) Dióxido de Azufre (SO _x as SO ₂)	1.4E-08	27.0
Otras sustancias	1.8E-08	35.4
Potencial de Acidificación del aire. (kg SO₂ eq)	1.5E-06	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	1.2E-06	77.0
(a) Dioxidos de Azufre (SO _x as SO ₂)	3.4E-07	22.5
Otras sustancias	6.8E-09	0.4
Potencial de Eutrofización (kg PO₄ eq)	3.3E-07	100
(a) Oxidos de Nitrógeno (NO _x as NO ₂)	3.1E-07	92.7
Otras sustancias	2.4E-08	7.3

(a) emisiones aire; (r) recurso no renovable; (w) emisiones agua.

En la Tabla 53, se dan a conocer los valores totales por categoría y la contribución de las emisiones más importantes en unidades equivalentes y en porcentaje de los residuos que se generan en todo el proceso de producción del cultivo de tomate en el invernadero multitúnel. En la categoría de potencial de los Recursos Abióticos el 83.5% del agotamiento de estos recursos se debe por el consumo del petróleo y el 16.5% por otras sustancias. En la categoría de Calentamiento Global el 95.3% de las emisiones son generadas al aire por Dióxido de Carbono (CO₂). Mientras que en la categoría del potencial de Ozono Estratosférico el 96.7% de las emisiones son generadas por Metano bromotri-fluoro, halón 1301.

Las emisiones que se emiten por los metales pesados (CFC-11) al aire en la categoría de Toxicidad Humana básicamente son Hidrocarburos Aromáticos Poli Cíclicos en un 28.4% y las emisiones emitidas al agua son por el Bario el 11.6% y los Hidrocarburos Aromáticos Poli Cíclicos un 10.6%.

En la categoría del potencial de Agua dulce eco Toxicidad Acuática el 34.9% de las emisiones al agua son generadas por el Vanadio y el 28.3% por el Níquel. Mientras que en la categoría de potencial de eco Toxicidad Marino Acuática el 35.9% de las emisiones son generadas al agua son por el Bario, el 17.9% por el Bario y el 15.5% por el Vanadio. En la categoría de potencial de Toxicidad Terrestre el 51.3% de las emisiones generadas al aire por el Mercurio y el 10.6% por el Vanadio, mientras que las emisiones al suelo son por el cromo VI en un 22.6% .

Las mayores emisiones que afectan la categorías de potencial Oxidación Fotoquímica son producidas por el Monóxido de Carbono en un 37.6% y por el Dióxido de Azufre al aire en un 27.0% y el resto en otras sustancias.

En la categoría de Acidificación el 77.0% de las emisiones son generadas por el Oxido de Nitrógeno y el 22.5% por el Dióxido de Azufre. Mientras que en la categoría de Eutrofización el 92.7% de las emisiones son generadas por los Óxidos de Nitrógeno al aire.

CAPITULO V

5. EVALUACION DE TRES TIPOS DE SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE TOMATE, BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS, EN LAS PALMAS GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS, ESPAÑA.

5.1. INTRODUCCION.

En las Islas Canarias España, la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en los últimos años se ha incrementado y por lo tanto también la utilización de sustratos. El área cultivada en sistema de cultivo sin suelo en las Islas Canarias suman unas 405 hectáreas de las cuales 153 corresponden a la lana de roca (*Rock wool*), 225 al sustrato de picón y 25 hectáreas al sustrato de perlita. Baixauli (2000).

En este capítulo se comparan los resultados de las cargas ambientales asociadas al tipo de sustrato utilizado en la producción: los diferentes tipos de sustratos estudiados son fibra de coco ó lana de coco (*Coconut fiber*), lana de roca (*Rock wool*) y el picón (*Basalto*). A continuación se describe cada uno de los sustratos estudiados.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO FIBRA DE COCO (*Coconut fiber*).

5.2.1. ORIGEN.

La fibra de coco es un producto natural derivado del fruto de la palmacea, ésta es una planta perenne perteneciente a la familia de las Palmáceas, cuyo nombre científico es (*Cocos nucifera*). El fruto del coco es un fruto en drupa y está compuesto por cáscara (exocarpio más mesocarpio) en un 35%, casco o hueso (endocarpio) en un 12%, albumen o carne (endospermo) en un 28% y agua en un 25%.

El hueso o endocarpio se utiliza como carbón vegetal, carbón activado, etc.

El endospermo o albumen se utiliza para producción de copra, que es la carne seca o deshidratada del coco, desmenuzada o molida, la cual representa el tejido nutritivo de la semilla.

Este es el producto más importante desde el punto de vista económico y se obtiene secando la

carne del coco al sol o en un horno. Además de este existen otros derivados como la manteca, grasa o aceite de coco, tortas y harina de copra.

El mesocarpio o fibra se utiliza en tapicería, colchonería, cordelería, para la fabricación de cuerdas, cepillos etc. Como productos residuales de la obtención de fibra de coco se obtienen las fibras cortas (2mm o menores) y el polvo del tejido medular. El polvo de coco se utiliza como sustrato hortícola, mejorador de suelos y en paneles de construcción.

Por tanto lo que conocemos como fibra de coco, como sustrato hortícola verdaderamente no es fibra de coco sino una mezcla de fibras cortas (*Coconut fiber*) y polvo de coco (*Coconut pith*). La fibra de coco resulta un sustrato ideal para mezclar con cualquier tipo de tierra o bien para utilizarla sola en cultivos hidropónicos en plantas hortícolas y ornamentales.

Son varios los países que producen la fibra de coco, en estos lugares los cocoteros crecen de forma abundante, teniendo su origen en el continente Asiático, principalmente en los países de Sri Lanka, la India, Filipinas e Indonesia.

5.2.2. PROCESO DE FABRICACIÓN.

Método de producción: cada unidad de coco contiene unos 125 gramos de fibras y con la extracción de esas fibras de la cáscara, se producen además unos 250 gramos de polvo de coco (esencial para semilleros). Este material se lava y se seca antes de comprimirlo en bloques, facilitando su transporte. Una vez llegado a su destino es sencillo devolverlo a su estado natural remojándolo en agua.

5.2.3. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.

En la tabla 54 se pueden observar las principales características que tiene el sustrato de fibra de coco.

Tabla 54: principales características de la fibra de coco.

PROPIEDADES	UNIDADES
Densidad Total	0.25 – 05 g/cm ³
Densidad Aparente	200 kg/m ³ .
Porosidad Total, % vol	95 %
Granulometría gruesa.	10 - 40 mm.
Material Orgánico	100%
Relación C/N	132
Capacidad de Intercambio Catiónico (m.e/100 g)	31 - 61
Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dS/m)	0.39 - 6.77

Fernández et al. 1998

Alta capacidad de almacenar agua y nutrientes. La fibra de coco puede retener 8 ó 9 veces su peso en agua.

- **La conductividad.** Puede presentar problemas de conductividad por el alto contenido de sales que posee. Antes de su uso es recomendable realizar lavados para corregir los altos niveles de K y Na. Recomendable mantener valores entre 250 a 500 uS/cm. La salinidad es debida, principalmente a niveles altos de cloruro sódico y potásico.
- La fibra de coco posee un bajo poder tampón.
- La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar.

5.2.4. PRESENTACIÓN.

La presentación de la fibra de coco es bajo tres formas básicas.

- Ladrillo deshidratado y altamente comprimido.
- Bala prensada .
- y saco de cultivo.



Fotografía 19: sustrato Fibra de coco
(Coconut fiber)



Fotografía 20: sacos de fibra de coco
(Coconut fiber)

5.2.5. RESIDUO.

A pesar de ser un material orgánico, su descomposición es muy lenta debido a su elevado contenido de lignina (45%). Es un material duro de descomponer. Con una vida útil variable dependiendo del país en donde se esté utilizando, en Holanda 8 a 10 años y en el Ecuador de 4 a 6 años, en la comunidad de las Palmas Gran Canaria, España, este tipo de sustratos tienen una vida útil de 2 a 3 años.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO LANA DE ROCA (*Rock wool*).

5.3.1. ORIGEN.

El material original se extrae de diabasas y calizas. Se trata de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y de carbón de coque. Su proceso de extracción se realiza por medios mecánicos.

La lana de roca tiene su origen en Dinamarca y posteriormente se desplaza a los países bajos en donde se desarrollan en la actualidad unas 3,600 hectáreas. Baixauli (2000).

El cultivo en lana de roca fue introducido en España en el año de 1982, estimándose en estos momentos 1,400 hectáreas. Existen diferentes firmas que la comercializan, empleando diferentes dimensiones de tablas y disposiciones del fibraje.

Los países en donde se fabrica la lana de roca son Dinamarca y España (Barcelona y Navarra). Baixauli (2000).

5.3.2. PROCESO DE FABRICACIÓN.

La lana de roca se obtiene por la fundición de un 60% de diabasa, 20% de piedra caliza y 20% de carbón de coque, la mezcla homogénea de rocas se introduce en un horno y se funde todo a una temperatura de 1,600 grados centígrados. La masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale expandida en forma de fibras de 0.005 milímetros de grosor. Posteriormente se añaden estabilizantes, (resina fenólica bakelita) y mojantes. Y después la lana de roca se comprime a una temperatura de 260 grados centígrados y adquiere su forma, en donde se corta en baladas. Las planchas se convierten en lo que denominamos tablas, tacos y bloques, en donde cultivamos las plantas o se realizan los semilleros respectivamente.

5.3.3. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.

Sustrato artificial.

Es considerado como un sustrato inerte, con una C.I.C. casi nula y un pH ligeramente alcalino fácil de controlar, el cual oscila ente 7.0 – 9.5. Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire, pero presenta una degradación de su estructura, lo que condiciona que su empleo no sobrepase los 3 años.

Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente, lo que condiciona una disposición muy horizontal de las tablas para que el agua se distribuya uniformemente por todo el sustrato.

En su composición química entran componentes como el sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio y hierro, etc.

Este es el sistema que más se utiliza en Europa. Por sus características físicas y químicas como sustrato para el cultivo de hortalizas, lo convierte en uno de los sistemas mas ideales para el manejo de cultivos sin suelos. Algo más del 95% del agua retenida por el sustrato es fácilmente asimilable por la planta, aspecto que no permite dejar a la planta sin suministro de agua al cultivo durante un periodo largo de tiempo y por la dificultad de rehidratar el material una vez extraida la totalidad de agua. Por su baja capacidad de intercambio catiónico y su bajo poder tampón, exige un manejo muy exacto de la nutrición y del riego.

El conjunto, lana de roca y solución nutritiva, presentan una baja inercia térmica, por lo que las variaciones de temperatura del sistema radicular están sujetas a los cambios de temperatura del aire en el interior del invernadero y de la temperatura de la solución nutritiva.

Tabla 55: principales características de la lana de roca (*Rock wool*).

PROPIEDADES	UNIDADES
Densidad Total	0.09 g/cm ³
Densidad Aparente	90.0 kg/m ³ .
Porosidad Total, porcentaj volumen	95.0%
Granulometría	0 - 7 mm.
Espacio poroso (%)	96.7
Material sólido (% volumén)	3.3
Aire (% volumén)	14.9
Agua fácilmente disponible + agua de reserva (% volumén)	77.8
Agua difícilmente disponible (% volumén)	4.0

Fernández et al. 1998

5.3.4. PRESENTACIÓN.

La presentación de la lana de roca es bajo diferentes formas.

5.3.4.1 Tablas.

5.3.4.2 Tacos.

5.3.4.3 Bloques.

5.3.4.4 Paneles.

5.3.4.5 Filtros.

5.3.4.6 Mantas.

5.3.4.7 Coquillas.

5.3.4.8 Borrás.



Fotografía 21: tablas de lana de roca
(Rock wool)

Las tablas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior, para evitar la proliferación de algas, de 500 galgas de grosor que permite una duración mínima de 2 años. Las dimensiones más comunes son las tablas de 100 cm de largo y de 15 a 20 cm de ancho y de entre 7.5 a 10 cm de alto. Presentan diferentes densidades de la lana de roca, a mayor densidad mayor duración del material, oscilando las densidades aparentes desde 47 mg/l hasta 100 mg/l.

Las distintas dimensiones y usos de la lana de roca dan nombre al bloque, que es un pequeño cilindro sobre el que se puede realizar la siembra, el taco sobre el cual se realiza el repicado y que puede ser de distintas dimensiones, siendo el más utilizado el de 7.5 x 7.5 x 6.5 cm y por último tenemos la tabla en donde se desarrolla el cultivo.

Para cultivos hortícolas, se emplean densidades de plantaciones comprendidas de 2 y 6 plantas por tabla, dándose casos de plantaciones que utilizan densidades altas de cultivo (cultivo de tomate en primavera) en las que se pueden llegar hasta 9 plantas por tabla.

5.3.5. RESIDUO.

En los países europeos en los que se practica este tipo de cultivos, son las empresas productoras de los sustratos las que se encargan de su recogida y posterior tratamiento de los residuos de sustratos, debido a que su duración es limitada y se recomienda para dos años su uso. Ésta parece ser la mejor solución para hacer frente a los problemas medioambientales que genera la eliminación de los sacos de sustratos una vez utilizados. La forma de hacerlo sería sencilla, que el camión que lleve los nuevos sacos de sustratos se lleve los usados para su

posterior reciclaje, que puede ser realizado o por la empresa fabricante, o por alguna otra que llegue a algún acuerdo con aquella.

5.4. DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO PICÓN (TIERRA VOLCÁNICA).

5.4.1. ORIGEN.

Es un sustrato natural granular, de forma irregular, con superficie rugosa y poros en su interior, es de origen volcánico, con tamaño de partícula inferior a 16 mm. El basalto es una roca ígnea extrusiva, sólida y negra. Es el tipo de roca más común en la corteza terrestre y cubre la mayoría del fondo oceánico.

Está formado por abundantes minerales oscuros como, el piroxeno y la olivina, que hacen que el basalto sea de color gris o negro obscuro. El basalto también tiene cantidades menores de minerales de color claro como, el feldespato y el cuarzo. El peso del basalto contiene menos del 52% en cuarzo (SiO_2).

El basalto se forma cuando la lava llega a la superficie de la tierra proveniente de un volcán o de una cordillera en medio del océano. Cuando llega a la superficie, la lava se encuentra a temperaturas que oscilan entre los 1,100 a 1,250 grados centígrados, pero se enfría rápidamente, en unos días o un par de semanas, convirtiéndose en roca sólida, la lava muy gruesa puede tardar muchos años en solidificarse totalmente.

Se empezó a utilizar como sustrato para cultivo sin suelo en las Palmas Gran Canarias en los años 60, posteriormente se abandona y en los años 90 se vuelve a introducir, usándose en sacos largos con riego localizado de alta frecuencia.

5.4.2. PROCESO DE FABRICACIÓN.

Se extrae de canteras a cielo abierto, posteriormente se clasifica por tamaños o no.

5.4.3. CARACTERÍSTICA AGRONÓMICAS.

En la tabla 56, se presentan las principales características del sustrato picón de origen volcánico.

Tabla 56: principales características del sustrato picón.

PROPIEDADES FISICAS	UNIDADES
Densidad Real	2.13 g/cm ³
Densidad Aparente	915 kg/m ³ .
Humedad	2% en lab.
Porosidad Total, porcentaje volumen	57.0 %
Granulometría	2 - 4 mm.
Capacidad de aireación (vol. De aire a 10 cm de c.a.)	36.6 % volumen
Volumén de agua a 10 cm de c.a.)	20.4 % volumen
Capacidad de retención de agua	204 g/l suspensión
PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y QUIMICAS	
pH (suspensión)	7.2
CE (ext., ds/m)	0.04

Fernández et al. 1998

El sustrato picón se puede encontrar 2 tipos: el de color negro y el de color rojo.

El picón negro, que es el mas usado, tiene una baja CIC: 5 meq/100 g, CE < 0.1 ms/cm en extracto 1:6 (vol: vol), con un pH alcalino 7.5 y 8.5.

El picón de color rojo es el más antiguo y degradado, pero tiene una alta heterogeneidad en sus características, que dificultan su manejo, además presenta una reactividad química mayor, que los hace difícilmente manejables como sustratos para cultivos sin suelo.

5.4.4. PRESENTACIÓN.

Bandejas de 20 cm x 60 cm x 10 cm. (volumen de 75 m³/ha.) En estas planchas se tiene un espacio para 2 plantas.



Fotografía 22: sustrato picón a granel (*Basalto*)



Fotografía 23: bandeja con sustrato picón (*Basalto*)

5.4.5. RESIDUO.

El residuo del sustrato picón, después de su vida útil es llevado a vertederos naturales.

5.5. METODOLOGIA.

5.5.1. METODOLOGÍA UTILIZADA ACV. ISO 14,040 (2006).

5.5.1.1. Definición del objetivo y el alcance del estudio.

En este estudio se enmarca en un proyecto cuyo objetivo es la evaluación de los daños ambientales al proceso de producción del cultivo de tomate bajo invernadero, a lo largo del ciclo de vida, es decir desde los orígenes de las materias primas utilizadas hasta el final de los residuos generados.

En este estudio se analizan tres diferentes tipos de sustratos, siendo la lana de roca, picón y la fibra de coco, los cuales son trasladados desde diferentes países en donde se producen. En el caso de la lana de roca se traslada desde Dinamarca y se utiliza un camión de 28 toneladas, la fibra de coco se traslada desde Filipinas y el transporte utilizado es el barco y el picón que es un sustrato de origen local, utilizan el transporte terrestre para trasladar desde la cantera hasta el lugar en donde es utilizado.

- Realizar un ACV comparativo entre tres tipos diferentes de sustratos, lana de roca, fibra de coco y el picón y determinar las cargas ambientales asociadas a cada uno.
- Cuantificar el consumo de materias primas y las emisiones de contaminantes generados por la producción, así como los residuos.

5.5.1.2. Ambito institucional.

El presente proyecto fué ejecutado por el Instituto de Recerca y Tecnología Agroalimentaria (IRTA), Cabrils, Barcelona, España y el Instituto Canario de Investigaciones Agroalimentarias (ICIA) las Palmas Gran Canaria, España, dentro del proyecto INIA (RTA 2005-0142-102-02).

5.5.1.3. Area temática. Horticultura y Medio Ambiente.

5.5.1.4. Unidad Funcional.

En este estudio se utilizó como unidad funcional la cantidad de sustrato utilizado por el número de 1000 plantas del cultivo de tomate.

5.5.1.5. Localización.

El presente estudio se realizó en la estación de Investigación Hortícola del ICIA en las Palmas, Gran Canaria, España. La cual se encuentra a una altitud de 76 metros sobre el nivel del mar.

5.5.1.6. Datos utilizados.

Los datos correspondientes a la producción, a los subsistemas manejo del invernadero y fertirrigación proceden de las experiencias realizadas en los invernaderos de las fincas ubicadas en la comunidad de Vecindario las Palmas, Gran Canaria, España.

Para la recogida y realización del inventario se ha seguido la guía de Audsley (1997) y Antón (2004). Se ha utilizado el software Simapro 7 y la base de datos Ecoinvent ®. En la sección análisis del inventario se halla detalladas las fuentes utilizadas en la recogida de datos para cada proceso. Los datos experimentales, proceden de las fincas seleccionadas en la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria.

5.5.1.7. Límites del sistema.

En este estudio queda excluida la estructura de los invernaderos, debido a que es común en los tres escenarios de sustratos.

5.5.1.8. Categorías de impacto.

El método de evaluación de impactos utilizado es el modelo desarrollado por el *Centre of Environmental Science* (CML) de Leiden (Guinée et al., 2001). Para la evaluación de impactos se siguieron las dos fases obligatorias según la serie 14040 de las normas ISO (2006), que actualmente son también las que disponen de una mayor aceptación internacional.

5.6. INVENTARIO.

5.6.1. TIPOS DE SUSTRATOS.

Los tres tipos de sustratos utilizados en este estudio son: la lana de roca (*Rock wool*), el picón (*Basalto*) y la fibra de coco (*Coconut fiber*). El sustrato lana de roca (*Rock wool*) fue el que se utilizó en la producción del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, en las Palmas Gran Canaria, España. Habiendo utilizado bandejas con las siguientes dimensiones: 1 metro de largo, 0.2 metros de ancho y 0.10 metros de alto, con un total de 0.020 m³ del sustrato por bandeja, (6.667 m³·UF⁻¹), lo que supone un volumen de 167 m³/ha. de sustrato utilizado), en cada bandeja se tiene un espacio para 3 plantas. (2.5 plantas por metro cuadrado), el número total de tablas es de: 8333.3 unidades. Estas bandejas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior, para evitar la proliferación de algas, de 500 galgas de grosor que permite una duración mínima de 2 años. En otras producciones y en otras ciudades se utiliza una cantidad total comprendida entre 3,333 a 5,000 tablas /ha. Que corresponden aproximadamente a 50 y 75 m³/ha. de sustrato. En países del centro de Europa como el caso de Holanda, se emplean volúmenes hasta de 150 m³/ha.

La cantidad del sustrato picón (*Basalto*) utilizada por unidad Funcional es de (8.197 m³·UF⁻¹) en la producción del cultivo de tomate, con un total de 0.025 m³ del sustrato por bandeja, en cada bandeja se tiene un espacio para 3 plantas, lo que supone un volumen de 205 m³/ha.,

El sustrato fibra de coco es utilizado en el invernadero parral, las bandejas tienen las dimensiones siguientes: 1 metro de largo, 0.18 metros de ancho y 0.16 metros de alto, con un total de 0.029 m³ del sustrato por bandeja, (9.600 m³·UF⁻¹) lo que supone un volumen de 240 m³/ha. de sustrato utilizado, en cada bandeja se tiene un espacio para 3 plantas.

En la tabla 57, se describen las diferentes características de los tres sustratos estudiados por unidad funcional, en la comunidad de las Palmas Gran Canaria, España.

Tabla 57: características de los tres tipos de sustratos por unidad funcional.

CARACTERISTICAS	UNIDAD FUNCIONAL	SUSTRATO LANA DE ROCA	SUSTRATO PICON	SUSTRATO FIBRA DE COCO
Volumen	m ³ ·UF ⁻¹	6.667	8.197	9.600
Densidad	kg·m ⁻³	90	915	200
Peso	kg·UF ⁻¹	600	7500.0	1920
Energía	---	0.00309 kWh	0.00621 kWh	subproducto
Plástico LDPE	kg·UF ⁻¹	1.23	---	1.77

5.6.2. TRANSPORTE.

Para la realización del inventario se ha considerado la siguiente información.

5.6.2.1. Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato lana de roca de Dinamarca a las Palmas Gran Canaria.

El sustrato de lana de roca fué trasladado en dos medios de transporte, desde Dinamarca hasta las Palmas Gran Canaria:

- a) En camión de 28 toneladas una distancia de 2,423 kilómetros.
- b) Barco 1400 kilómetros.

5.6.2.2. Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato fibra de coco de Filipinas a las Palmas Gran Canaria.

El sustrato de fibra de coco (*Coconut fiber*) fue transportado de Filipinas a las Palmas Gran Canaria, España en los medios de transporte siguientes:

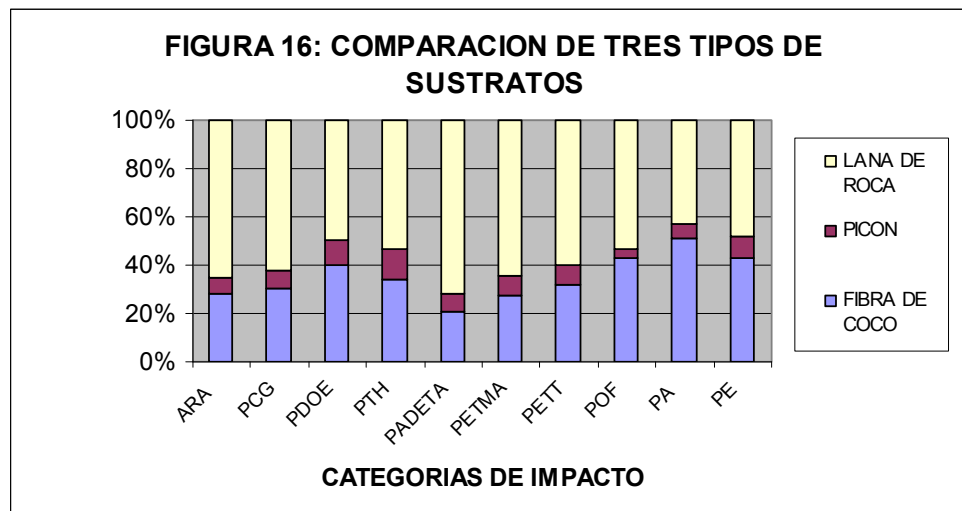
- a) En camión de 28 toneladas una distancia de 525 kilómetros.
- b) Barco 15,593 kilómetros.

5.6.2.3. Tipo de transporte terrestre y marítimo utilizado para trasladar el sustrato Picón en el área de la Isla.

Y el sustrato de picón fue transportado de la zona de Jicamar que está a 50 kilómetros de distancia de la estación experimental del Instituto (ICIA), estando dentro de la misma Isla, siendo transportado en un camión de 28 toneladas.

5.7. RESULTADOS Y DISCUSION

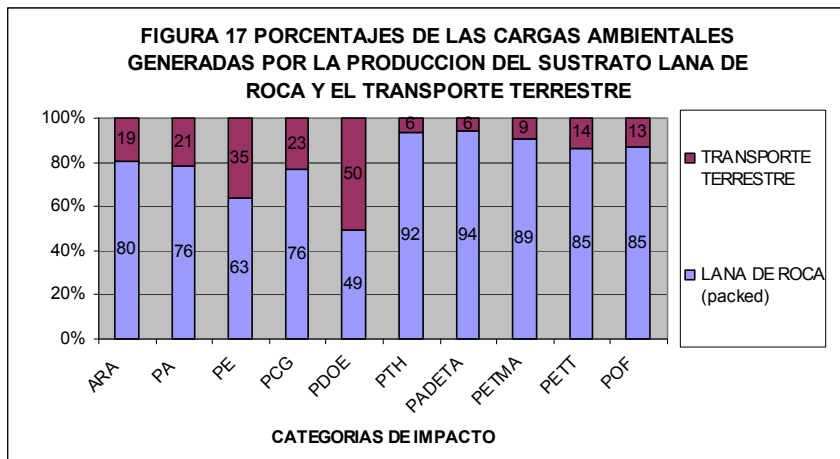
A continuación se presentan los resultados de la comparación de tres tipos de sustratos siendo: lana de roca (*Rock wool*), fibra de coco (*Coconut fiber*) y el picón (*Basalto*), los cuales fueron trasladados desde el lugar de origen de los sustratos hasta la comunidad de Vecindario, las Palmas Gran Canaria, España.



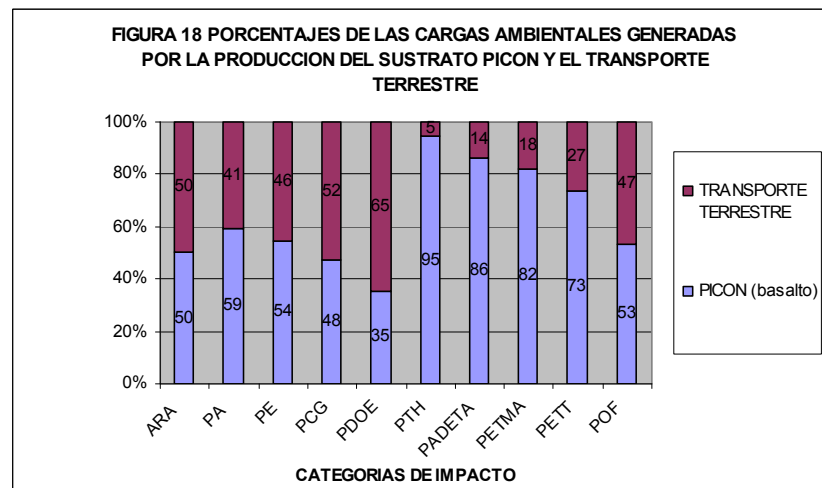
En la Figura 16, se tienen los resultados de la comparación de la producción y el traslado de 3 tipos diferentes de sustratos, donde podemos observar que la lana de roca (*Rock wool*) está afectando a las categorías de impacto ambiental de Agua dulce eco toxicidad acuática, Agotamiento de Recursos Abióticos, Potencial eco toxicidad Marino Acuática, Potencial de Calentamiento Global y Potencial Eco Toxicidad Terrestre. Además de presentar este impacto la lana de roca también tiene el problema que es un material no biodegradable.

El sustrato de fibra de coco está afectando a las categorías de potencial de Acidificación, potencial de Eutrofización, potencial Oxidación Fotoquímica, potencial de Destrucción de Ozono estratosférico y potencial de Toxicidad Humana.

En cuanto al sustrato picón, los impactos ocasionados en todas las categorías son mínimos. Debido a poca energía consumida en la fase de producción y que el producto no tiene que trasladarse largas distancias, de donde se produce a donde se tiene que utilizar.



En la Figura 17, se tienen los porcentajes de las cargas ambientales generadas correspondiente al proceso de producción del sustrato la lana de roca y al transporte utilizado para el traslado del mismo. El proceso de producción del sustrato lana de roca está produciendo las mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto, siendo la categoría de Potencial Agua dulce eco Toxicidad Acuática la que presenta el porcentaje más alto 94% y la categoría de potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico con el porcentaje más bajo 49%. Para el caso del transporte la categoría de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico es la más afectada con un 50% y las que presentan el menor porcentaje son las categorías de potencial de Toxicidad Humana y Potencial de agua dulce eco Toxicidad Acuática con 6%.



En la Figura 18, se observa que el proceso de producción del sustrato picón (*basalto*) se están produciendo las mayores cargas ambientales, siendo la categoría de Toxicidad Humana la más afectada con un 95% y la categoría de potencial de Destrucción del Ozono Estratosférico con un 35% y con respecto al transporte terrestre está afectando la categoría de potencial de destrucción de ozono estratosférico en un 65% y la categoría con menor impacto es la toxicidad humana 5%.

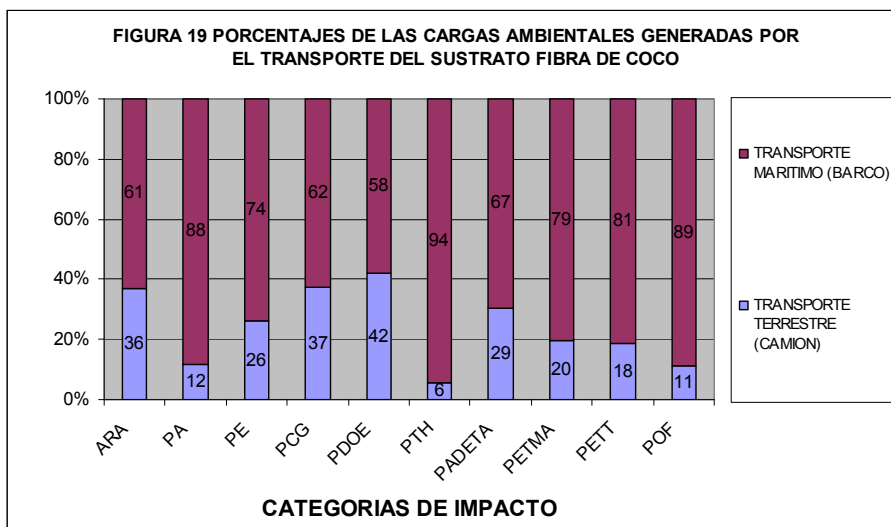
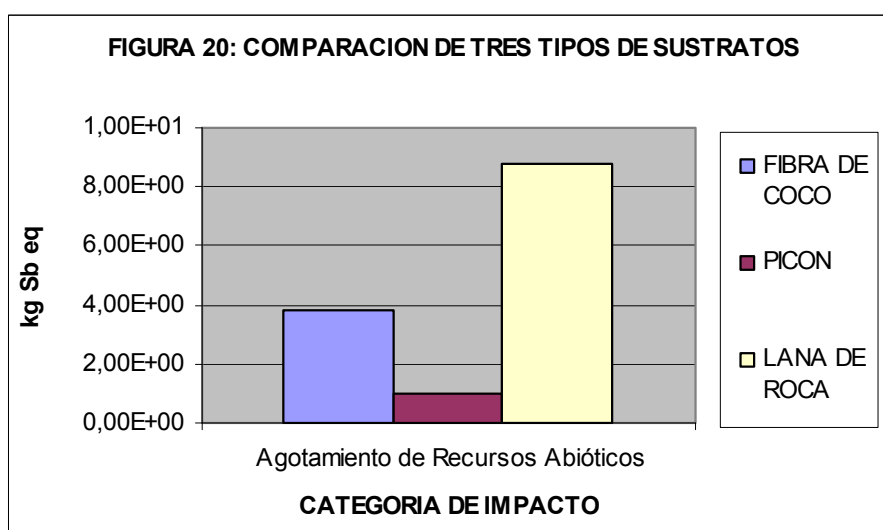


Figura 19, en todas las categorías de impacto, el transporte marítimo utilizado para el traslado del sustrato de fibra de coco es el que está generando las mayores cargas ambientales, la categoría con mayor impacto es la de Toxicidad Humana 94% y la categoría de potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico con el menor impacto 58%, mientras tanto que el transporte terrestre afecta más a la categoría de Ozono Estratosférico 42% y en menor porcentaje a la categoría de Toxicidad Humana 6%.

De los tres sustratos analizados podemos decir que la lana de roca (*Rock wool*) es el que está generando las mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto y esto es debido al alto consumo de recursos que se produce en el proceso de fabricación del sustrato y al transporte que se usa para trasladarlo hasta el lugar en donde es utilizado.

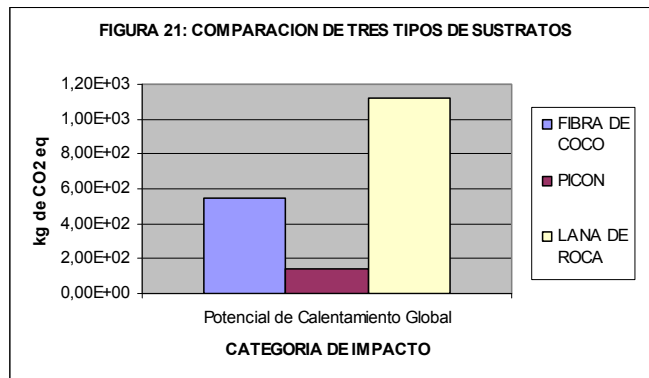


En la Figura 20, se comparan los siguientes sustratos Lana de Roca, Picón y Fibra de Coco y de estos tres sustratos se observa que el sustrato de la lana de roca (*Rock wool*) está generando las mayores cargas ambientales. A continuación se da a conocer que proceso, actividad o consumo de recursos es el que está causando las mayores cargas ambientales en cada categoría de impacto. En el caso del sustrato lana de roca el 61.9% de esas cargas ambientales están siendo generadas en el proceso de producción y el 34.6% por el transporte terrestre. En el proceso de producción del sustrato lana de roca, la extracción del carbón en las minas (hard coal, at mine) está generando 42.5% ($3.4E+00$ kg Sb eq) de las cargas y el consumo de gas natural 19.4% ($1.5E+00$ kg Sb eq). Mientras que el transporte terrestre el 34.6% ($2.6E+00$ kg Sb eq) de las cargas ambientales y es por el consumo de petróleo (petróleo crudo). Siendo estos los principales flujos detectados en la categoría de impacto del Agotamiento de los Recursos Abióticos. Como se puede ver en la Figura 17, del 100% del total de todo el proceso, en la categoría del impacto del agotamiento de los Recursos Abióticos el 80% corresponde al proceso de producción de la lana de roca, (carbón en las minas), mientras que el 19% corresponde transporte terrestre y marítimo (camión y barco) que son utilizados para trasladar el sustrato, desde el lugar de origen, hasta el lugar en donde se tienen establecidos los invernaderos para la producción.

En cuanto al sustrato picón los mayores cargas ambientales son por el uso del transporte terrestre y por el proceso de fabricación del sustrato. En la categoría de impacto de Agotamiento de Recursos Abióticos los principales flujos detectados se están generando por el transporte terrestre y es por el consumo del petróleo (crude oil) en un 84.0% ($5.1E-01$ kg Sb eq) y por el carbón (hard coal) 4% ($2.6E-01$ kg Sb eq). En el proceso de fabricación del sustrato, también el consumo del petróleo está generando el 54% ($2.0E-01$ kg Sb eq) de las cargas ambientales, el consumo de la lignito el 15% ($5.5E-02$ kg Sb eq) y el consumo del carbón el 18% ($2.7E-02$ kg Sb eq). Como se puede ver en la Figura 18, del 100% del total de todo el proceso, el 50% corresponde a la producción del sustrato picón (*Basalto*), mientras que el otro 50% corresponde al transporte terrestre utilizado para trasladar el sustrato.

Los principales flujos detectados en la categoría de impacto del potencial de Agotamiento de los Recursos Abióticos vienen dados por el consumo del petróleo que se utiliza en el transporte marítimo y terrestre que es en donde se traslada el sustrato fibra de coco, el consumo del petróleo está generando las mayores cargas ambientales 92.9%, en consumos equivalentes

(2.6E+00 kg Sb eq) y el gas natural 5.7% en consumo equivalente (1.6E-01 kg Sb eq.). En la Figura 19, se puede observar que del 100% del total de todo el proceso que lleva el sustrato fibra de coco, el 61% de los impactos están siendo generados por el transporte marítimo (barco) y el otro 36% por el transporte terrestre (camión).



En la Figura 21, se puede observar de que de los tres sustratos que se están comparando, la lana de roca (*Rock wool*) es la que está causando las cargas ambientales en la categoría del Potencial del Calentamiento Global 100% (9.9E+02 kg de CO₂ eq) y las emisiones son generadas por el Dióxido de Carbono fósil (CO₂), siendo éste el principal flujo detectado. En la Figura 17, se puede ver que del 100% del total de todos los procesos, la producción del sustrato lana de roca es la que está generando el 76% de los impactos ambientales, en la categoría del potencial del Calentamiento Global, mientras que la operación del transporte vía terrestre produce el 23%.

Atendiendo a la contribución de utilización del sustrato picón las emisiones de Dióxido de Carbono fósil (CO₂), generan un 95.8% en consumos equivalentes (1.1E+02 kg de CO₂ eq), del total de la categoría de cambio climático. En la Figura 18, se tiene que del 100% del total de todos los procesos en el sustrato picón, la operación del transporte terrestre (camión) está generando el 52% de los impactos ambientales en la categoría de Calentamiento Global, mientras que la producción del sustrato picón (*Basalto*) es el 48%.

En la categoría de Potencial de impacto del Calentamiento Global, el 97.4% en unidades equivalentes (4.2E-02 kg de CO₂ eq) del Dióxido de Carbono fósil (CO₂), es el que está produciendo las emisiones que están causando el mayor impacto ambiental en ésta categoría. Así mismo del 100% del total de todos los procesos, en la fabricación del sustrato fibra de coco, las cargas ambientales son generadas por el transporte marítimo en un 62% y por el transporte terrestre el 37%, en la categoría del Calentamiento Global, éste transporte es utilizado para trasladar el sustrato de fibra de coco. Figura 19.

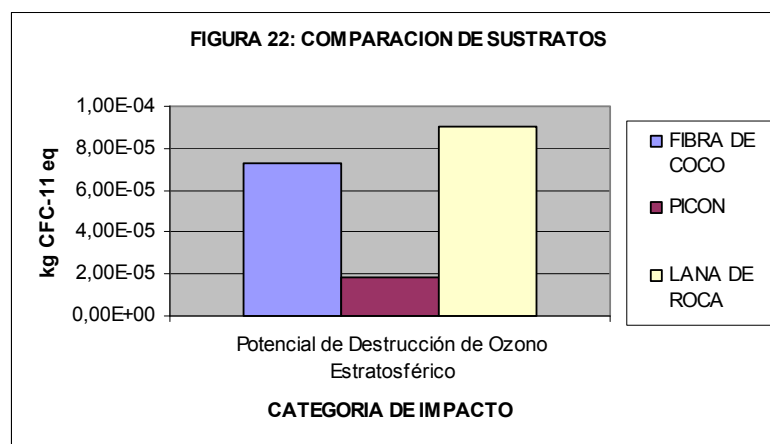
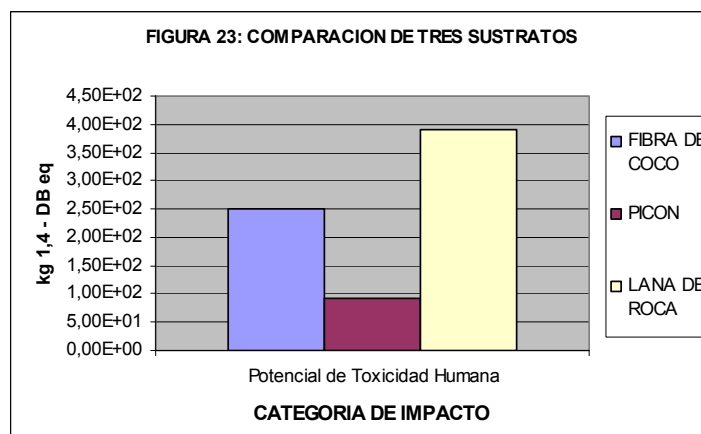


Figura 22, en esta categoría de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico, el sustrato lana de roca, presenta las mayores emisiones que son producidas por el metano bromotrifluoro halón 1301 en un 78.8% ($5.5E-05$ kg CFC-11 eq) y por el Metano bromochlorodifluoro, halón 1211, el 16.3% ($1.1E-05$ kg CFC-11 eq). El gas (metano) se produce especialmente durante la combustión de carburantes en presencia de Fl. y Br, por la gran reactividad de estos elementos, su emisión se produce principalmente en la producción del sustrato y en el transporte. De todo el proceso podemos observar en la Figura 17, que el transporte terrestre está generando el 50% de los impactos ambientales y la producción del sustrato lana de roca el 49%, en la categoría de Destrucción de Ozono Estratosférico.

En la categoría de Destrucción de Ozono Estratosférico, las mayores emisiones son causadas por el Metano bromotrifluoro halón 1301, 93.3% ($5.7E-05$ kg CFC-11 eq). En todo el proceso de producción del sustrato picón, el transporte terrestre está generando el 65% de las cargas ambientales, mientras que el 35% es en la producción del sustrato picón, Figura 18.

Ambos tipos de transporte (marítimo y terrestre) están generando las mayores cargas ambientales en la categoría de destrucción de ozono estratosférico. El 99.4% de las emisiones están siendo causadas por el Metano, bromotrifluoro halón 1301, en números equivalentes es ($5.7E-05$ kg CFC-11 eq) en ésta categoría de impacto. Del total de todo el proceso de producción del sustrato de fibra de coco, el transporte marítimo está provocando el 58% de las cargas ambientales, mientras que el transporte terrestre el 42% Figura 19.



En la Figura 23, se comparan tres tipos de sustratos, en la categoría de Toxicidad Humana las mayores emisiones en el sustrato de lana de roca, son generadas por el Benceno al agua 39.1% (1.0E+02 kg 1,4 - DB eq), Benceno al aire 19.6% (5.1E+01 kg 1,4 - DB eq), Hidrocarburos aromáticos policíclicos 16.8% al aire (4.3E+01 kg 1,4 - DB eq). En la Figura 17, se puede observar que del 100% del total de todo el proceso, la producción del sustrato lana de roca es el que genera las mayores cargas ambientales en ésta categoría con un 92% y el transporte terrestre unicamente el 6%.

En esta misma categoría de impacto, en la producción del sustrato Picón las partículas > 2.5 um, y <10 um están generando el 52.5% de las emisiones, en números equivalentes son (5.1E+01 kg 1,4 - DB eq), los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos que están produciendo el 22% de las emisiones (2.2E+01 kg 1,4 - DB eq) y las partículas <2.5 um, el 13.2% (1.3E+01 kg 1,4 - DB eq), las cuales están afectando al aire en ésta categoría. Esas partículas son dioxinas, que son compuestos químicos obtenidos a partir de procesos de combustión que implican al cloro, el término se aplica indistintamente a las policlorodibenzofuranos (PCDF) y las policlorodibenzodioxinas (PCDD). En la Figura 18, se tiene que del total de todo el proceso, la producción del sustrato picón (basalto) es la que más contribuye en la categoría de Toxicidad Humana, generando el 95% de las cargas ambientales y mientras que el trasporte terrestre unicamente genera el 5%.

En esta misma categoría de Toxicidad Humana, en el sustrato fibra de coco, los Hidrocarburos aromáticos policíclicos están produciendo las mayores emisiones al aire 45.5% (8.7E+01 kg 1,4 - DB eq) y el Níquel 31.1% (5.9E+01 kg 1,4 - DB eq) al aire. Podemos ver en la Figura 19, del total de todo el proceso del sustrato fibra de coco, en la categoría de eco Toxicidad Humana el

transporte marítimo (barco) es el que está generando las mayores cargas ambientales en un 94% y el transporte terrestre (camión) el 6%.

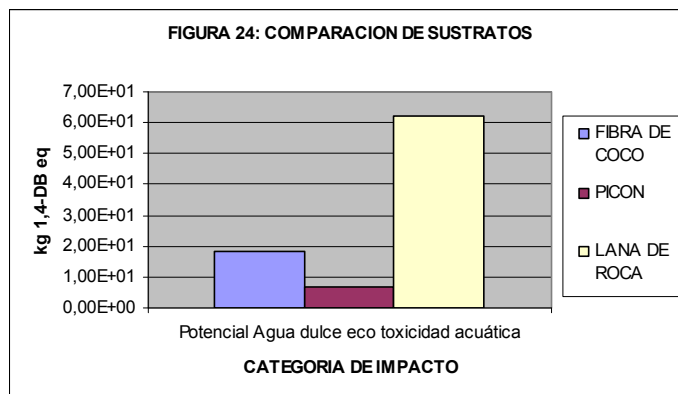


Figura 24, en esta categoría cabe destacar que en los tres sustratos las principales emisiones son generadas por los metales pesados, el sustrato lana de roca (*Rock wool*), las emisiones son producidas por el Vanadio 59.9% (1.9E+01 kg 1,4-DB eq), Níquel 5.8% (1.8E+00 kg 1,4-DB eq) y Cobre 5.1% (1.6E+00 kg 1,4-DB eq). Y como se puede ver en la Figura 17, del total de todos los procesos, la producción del sustrato, está afectando la categoría Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática en un 94% y el transporte terrestre el 6%.

Las emisiones el sustrato picón, en la categoría Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática son producidas también por los Metales pesados siguientes. Vanadio 26.5% (8.7E-01 kg 1,4-DB eq), Cobre 20.2% (6.6E-01 kg 1,4-DB eq), Níquel 12.0% (3.9E-01 kg 1,4-DB eq), Berilio 10.7% (3.5E-01 kg 1,4-DB eq). Bario 10.6% (3.5E-01 kg 1,4-DB eq). En el total de todos los procesos, la producción del sustrato picón, está afectando la categoría Potencial Agua dulce Eco Toxicidad Acuática, generando el 86% de las cargas ambientales, mientras que el transporte terrestre genera el 14% Figura 18.

En esta misma categoría de impacto, solo que para el caso del sustrato fibra de coco, las principales emisiones son generadas por los Metales pesados. Bario 26.4% (1.1E+00 kg 1,4-DB eq), Níquel 25.6% (1.1E+00 kg 1,4-DB eq) y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos 17.0% (7.1E-01 kg 1,4-DB eq). En la Figura 19 se puede ver que el transporte marítimo y terrestre están produciendo las mayores cargas ambientales en la categoría Potencial Agua Eco Toxicidad Acuática en un 67% y 29% respectivamente.

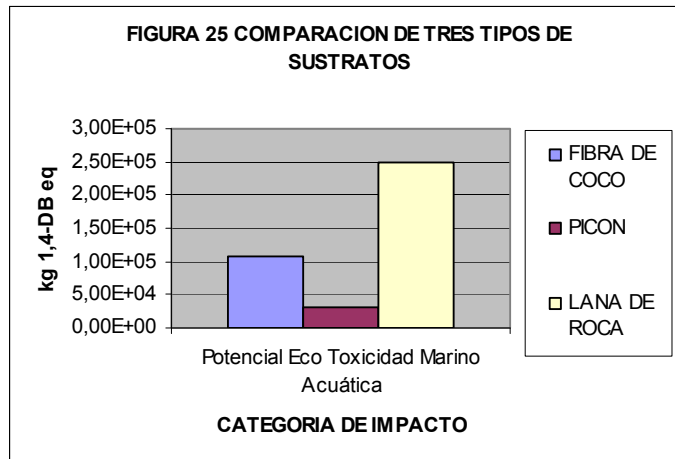


Figura 25, se comparan tres tipos de sustratos, en ésta categoría las mayores emisiones son generadas por los metales pesados, en el caso del sustrato la lana de roca el Vanadio produce 51.1% ($2.5E+04$ kg 1,4-DB eq), Berilio 17.1% ($8.4E+03$ kg 1,4-DB eq) Bario 15.1% ($7.4E+03$ kg 1,4-DB eq) y el Níquel 2.7% ($2.6E+03$ kg 1,4-DB eq). En la Figura 17, se puede observar que del total de todos los procesos, la producción del sustrato de lana de roca está causando las mayores cargas ambientales en la categoría del Potencial eco Toxicidad Marino Acuática en un 89% y el transporte terrestre un 9%.

En esta misma categoría las mayores emisiones en el sustrato picón son producidas por los metales pesados: Berilio 31.0% ($2.1E+03$ kg 1,4-DB eq), Bario 25.3% ($1.7E+03$ kg 1,4-DB eq), Vanadio 23.2% ($1.6E+03$ kg 1,4-DB eq). En la Figura 18, se tiene que del total de todos los procesos, la producción del sustrato picón, está generando el 82% las cargas ambientales y el transporte terrestre el 18%, en la categoría Potencial Agua Eco Toxicidad Acuática.

Para el caso del sustrato fibra de coco, las mayores emisiones son producidas principalmente por el: Níquel 38.8% ($6.4E+03$ kg 1,4-DB eq), Bario 38.1% ($6.3E+03$ kg 1,4-DB eq) y el Vanadio 10.1% ($1.7E+03$ kg 1,4-DB eq). Figura 19, se puede ver que la operación del transporte del sustrato fibra de coco, es la que está generando las mayores cargas ambientales en la categoría Potencial Agua Eco Toxicidad Acuática, el 79% corresponde al transporte marítimo y el 20% el transporte terrestre.

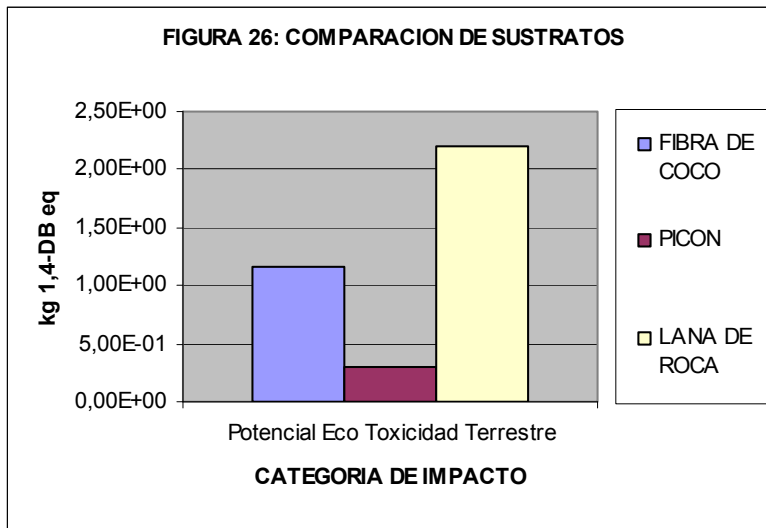


Figura 26, en esta categoría de impacto Potencial Eco Toxicidad Terrestre, en los tres tipos de sustratos estudiados se tiene que las mayores emisiones son producidas por los metales pesados. En el sustrato lana de roca el Vanadio genera el 40.4% (3.7E-01 kg 1,4-DB eq), Mercurio 33.7% (3.1E-01 kg 1,4-DB eq), Formaldehido 12.6% (1.1E-01 kg 1,4-DB eq). En la Figura 17, se puede observar que del total de todos los procesos, la producción del sustrato de lana de roca, está generando el 85% de las cargas ambientales y el transporte terrestre el 14%, en la categoría Potencial de Eco Toxicidad Terrestre.

En cuanto al sustrato picón, en esta misma categoría de impacto las mayores emisiones son generadas por el Mercurio 51.0% (6.1E-02 kg 1,4-DB eq), Vanadio 32.8% (3.9E-02 kg 1,4-DB eq) y Zinc 6.7% (8.1E-03 kg 1,4-DB eq). En la Figura 18, se tiene que del total de todos los procesos, la producción del sustrato picón, es el que está generando las mayores cargas ambientales en un 73%, las cuales están afectando la categoría Potencial eco Toxicidad Terrestre, mientras que el transporte terrestre genera el 27%.

En esta categoría de potencial de Toxicidad Terrestre, en el sustrato fibra de coco, las mayores emisiones son generadas principalmente por los Metales pesados dentro de los cuales tenemos: Niquel 42.2% (2.0E-01 kg 1,4-DB eq), Mercurio 23.7% (1.1E-01 kg 1,4-DB eq), Vanadio 15.7% (7.3E-02 kg 1,4-DB eq). En la Figura 19, se puede observar el transporte está provocando las mayores cargas ambientales en la categoría Potencial Eco Toxicidad Terrestre, el transporte marítimo 81% y terrestre 18%.

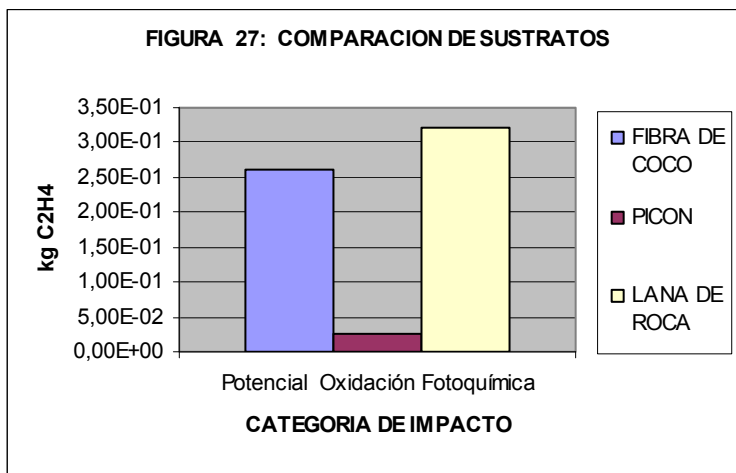
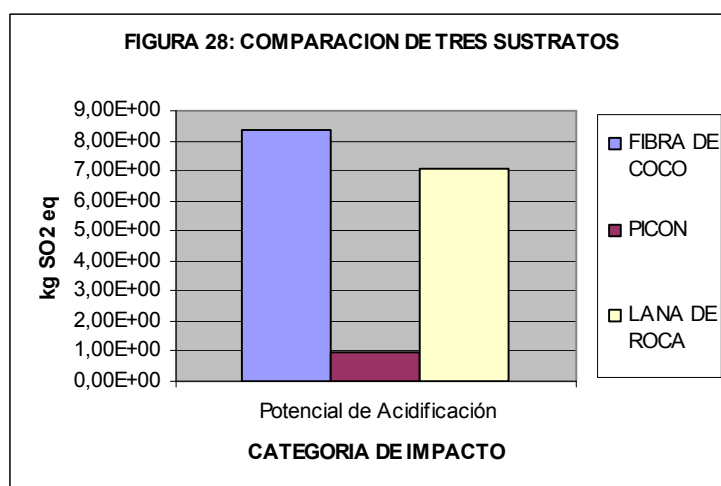


Figura 27, en la categoría del potencial de Oxidación Fotoquímica las mayores emisiones son producidas en el sustrato lana de roca (*Rock wool*) por el Dioxido de Azufre 41.8% (1.2E-01 kg C₂H₄), Formaldehido 21.5% (6.3E-02 kg C₂H₄), Monoxido de Carbono 9.1% (2.7E-02 kg C₂H₄). En la Figura 17, se puede ver que del 100% del total de todos los procesos, la producción del sustrato la lana de roca está causando las mayores cargas ambientales en un 85%, mientras que el transporte por tierra un 13%.

En el caso del sustrato picón en la categoría del Potencial de Oxidación Fotoquímica, las mayores emisiones son generadas por el Dióxido de Azufre en un 38.8% (8.1E-03 kg C₂H₄), por el Monoxido de Carbono fósil 31.8% (6.7E-03 kg C₂H₄) y el Formaldehido 6.1% (1.3E-03 kg C₂H₄). Se puede ver en la Figura 18, que del cien porciento del total de todos los procesos, la producción del sustrato picón ésta generando el 53% de las cargas ambientales, mientras que la operación del transporte del sustrato picón el 47% en esta categoría.

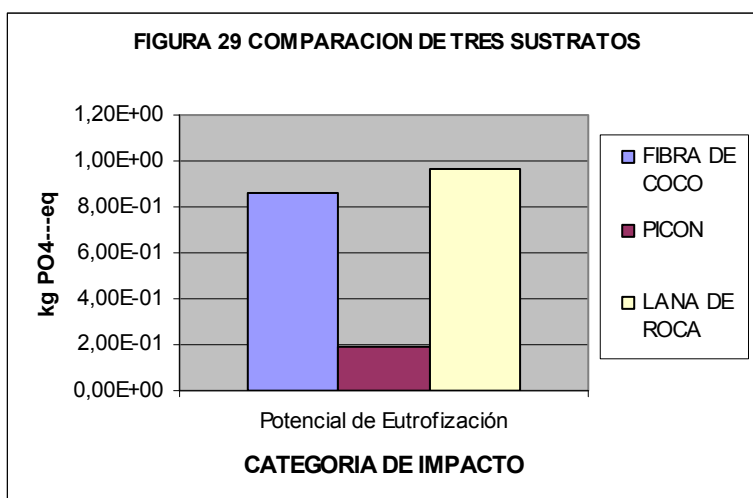
El sustrato de fibra de coco, en la categoría de Oxidación Fotoquímica las mayores emisiones son producidas por el Dioxido de Azufre 80.9% (1.9E-01 kg C₂H₄) y el Monóxido de Carbono fósil 9.6% (2.3E-02 kg C₂H₄). En la Figura 19 se tiene que del 100% del total de todos los procesos, el transporte utilizado para trasladar el sustrato de fibra de coco, es el que está generando la mayor carga ambiental, el 89% lo genra el transporte marítimo (transoceánico) y el 11% el transporte terrestre.



En la Figura 28, se comparan los tres sustratos y se puede observar que las emisiones generadas en el sustrato fibra de coco superan a las generadas por el sustrato lana de roca y el sustrato picón. En el sustrato lana de roca, en la categoría de Acidificación las mayores emisiones son producidas por el Dióxido de Azufre 49.1% (3.1E+00 kg SO₂ eq), Oxido de Nitrógeno 32.8% (2.0E+00 kg SO₂ eq) y Amoniáco 18.2% (1.1E+00 kg SO₂ eq). En la Figura 17, se tiene que del total de todos los procesos, la producción del sustato de lana de roca, está causando las mayores cargas ambientales en un 76%, mientras que el transporte terrestre el 21% en la categoría de impacto de Acidificación.

Para el sustrato picón en esta categoría las mayores emisiones son generadas por el Oxido de Nitrógeno 68.3% (5.6E-01 kg SO₂ eq), Dióxido de Azufre 24.7% (2.0E-01 kg SO₂ eq) y Amoniáco 7.0% (5.7E-02 kg SO₂ eq). En la Figura 18 se observa que el 59% de los impactos están siendo generados en la producción del sustrato picón, mientras que el transporte terrestre 41% en la categoría de Acidificación.

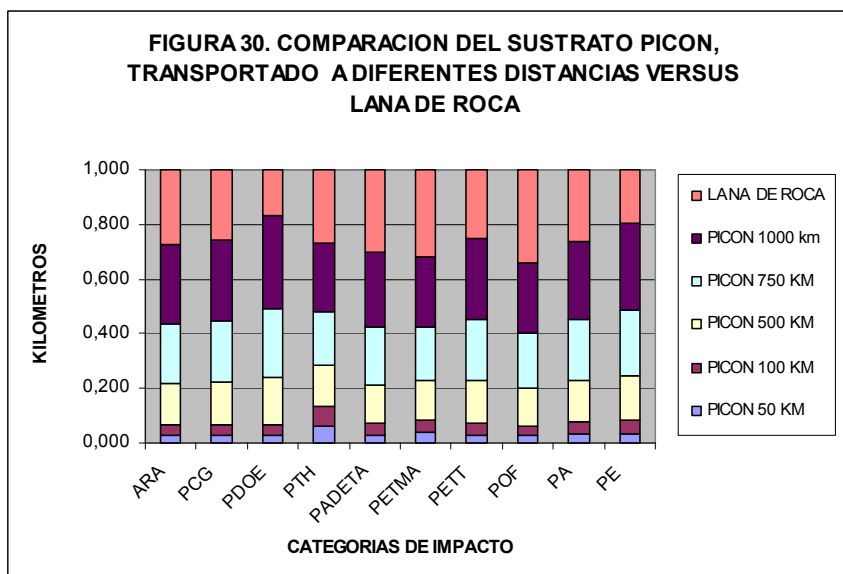
En el caso del sustrato fibra de coco, en la categoría de Acidificación las mayores emisiones son generadas en un 62.5% en unidades equivalentes (4.8E+00 kg SO₂ eq) por el Dióxido de Azufre y el 36.8% en unidades equivalentes (2.8E+00 kg SO₂ eq) por el Oxido de Nitrógeno. En la Figura 19, se puede ver que del total de todo el proceso del sustrato fibra de coco, el transporte marítimo y terrestre, están generando las mayores cargas ambientales en la categoría de Acidificación (88% y 12% respectivamente).



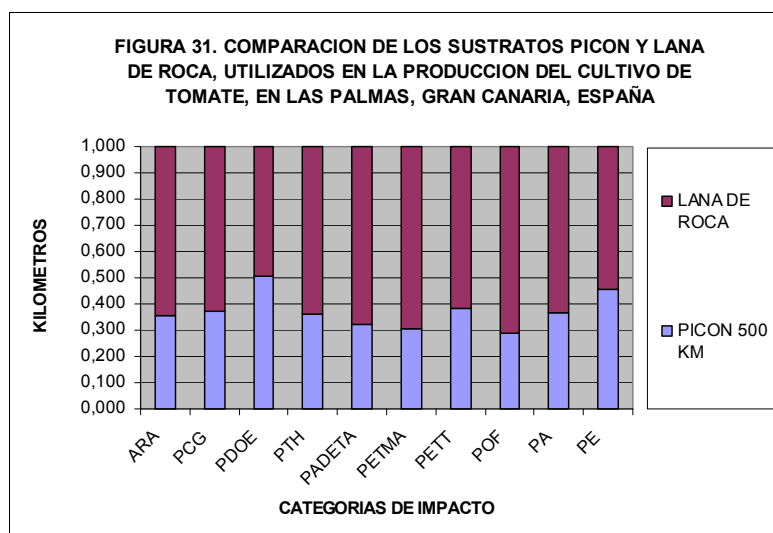
En la Figura 29, se comparan los sustratos lana de roca, picón y fibra de coco. En la categoría de impacto del potencial de Eutrofización, en el sustrato lana de roca los Oxidos de Nitrógeno son los que están generando las mayores emisiones 64% en unidades equivalentes ($5.3E-01\text{kg PO}_4\text{---eq}$), el amoníaco 30% ($2.5E-01\text{kg PO}_4\text{---eq}$) y la demanda química de oxígeno 5% ($4.3E-02\text{ kg PO}_4\text{---eq}$). En la Figura 17, se puede ver que en ésta categoría de impacto del total de todos los procesos, la producción del sustrato la lana de roca es la que está generando el 63% de las cargas ambientales y la operación del transporte terrestre el 35%.

Para el caso del sustrato picón en esta misma categoría de impacto, las mayores emisiones son generadas por los Oxidos de Nitrógeno 88% ($1.5E-01\text{ kg SO}_2\text{ eq}$), Amoníaco 8% ($2.5E-01\text{ kg PO}_4\text{---eq}$) y la Demanda Química de Oxígeno 4% ($4.3E-02\text{ kg SO}_2\text{ eq}$). Figura 18 se puede observar que el 54% de los cargas ambientales son producidas en el proceso de producción del sustrato picón (*Basalto*), mientras que el 46% es por el transporte terrestre.

En la categoría de Eutrofización, las emisiones que contribuyen en mayor medida en el sustrato de fibra de coco son los Oxidos de Nitrógeno 94% ($7.4E-01\text{ kg PO}_4\text{---eq}$) y Demanda Química de Oxígeno 4% ($3.4E-02\text{ kg PO}_4\text{---eq}$). También se puede ver en la Figura 19, que del total de todos los procesos, el transporte utilizado para trasladar el sustrato de fibra de coco, es el que está generando las mayores cargas ambientales en la categoría de Eutrofización, el 74% corresponde al transporte marítimo (barco) y el 26% por el transporte terrestre (camión).



En la Figura 30, se tienen los resultados del sustrato picón siendo trasladado a diferentes distancias que oscilan entre 50 y 1000 kilómetros, en comparación con el sustrato de lana de roca. Y se observa que en distancias entre 500 y 750 kilómetros iguala el impacto con la producción de lana de roca.



En la figura 31, se puede observar que a partir de los 500 kilómetros al ser trasladado el sustrato picón ya está generando cargas ambientales principalmente en la categoría de potencial de destrucción del ozono estratosférico. Eso quiere decir que el sustrato picón se puede utilizar en zonas en donde no se tenga que recorrer largas distancias, ya que al superarse estos kilómetros ambientalmente no es recomendable su traslado. Siendo una buena alternativa este sustrato en las zonas productoras, siempre y cuando estos recursos naturales estén disponibles.

Tabla 58: valores absolutos del sustrato picón trasladado a diferentes distancias y el sustrato lana de roca (*Rock wool*), por categoría de impacto.

CATEGORÍAS DE IMPACTO	UNIDAD	PICON 50 KM	PICON 100 KM	PICON 500 KM	PICON 750 KM	PICON 1000 KM	LANA DE ROCA
Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA)	kg Sb eq	8.3E-01	1.3E+00	4.9E+00	7.2E+00	9.4E+00	8.8E+00
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	kg CO2 eq	1.2E+02	1.8E+02	6.7E+02	9.8E+02	1.3E+03	1.1E+03
Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico (PDOE)	kg CFC-11 eq	1.4E-05	2.2E-05	9.1E-05	1.4E-04	1.8E-04	9.0E-05
Potencial de Toxicidad Humana (PTH)	kg 1,4-DB eq	8.9E+01	1.0E+02	2.2E+02	2.9E+02	3.6E+02	3.9E+02
Potencial Agua Dulce eco Toxicidad Acuática. (PADETA)	kg 1,4-DB eq	5.9E+00	8.5E+00	3.0E+01	4.3E+01	5.6E+01	6.2E+01
Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática. (PETMA)	kg 1,4-DB eq	2.9E+04	3.8E+04	1.1E+05	1.6E+05	2.0E+05	2.5E+05

Potencial Eco Toxicidad Terrestre. (PETT)	kg 1,4-DB eq	2.6E-01	3.8E-01	1.3E+00	2.0E+00	2.6E+00	2.2E+00
Potencial Oxidación Fotoquímica. (POF)	kg C2H4	2.4E-02	3.6E-02	1.3E-01	1.9E-01	2.5E-01	3.2E-01
Potencial de Acidificación (PA)	kg SO2 eq	8.6E-01	1.2E+00	4.1E+00	5.9E+00	7.7E+00	7.1E+00
Potencial de Eutrofización (PE)	kg PO4--- eq	1.6E-01	2.3E-01	8.1E-01	1.2E+00	1.5E+00	9.6E-01

Tabla 59: ratios encontrados entre el sustrato lana de roca y el sustrato picón trasladado a diferentes distancias.

CATEGORÍAS DE IMPACTO	PICON 50 KM	PICON 100 KM	PICON 500 KM	PICON 750 KM	PICON 1000 KM	LANA DE ROCA
	Unidades equivalentes	RATIOS				
Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA)	0.8	1.5	5.9	8.6	11.4	10.7
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	115.5	1.5	5.8	8.5	11.2	9.7
Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico (PDOE)	0.0	1.6	6.8	10.0	13.2	6.7
Potencial de Toxicidad Humana (PTH)	89.4	1.2	2.4	3.2	4.0	4.4
Potencial Agua Dulce eco Toxicidad Acuática. (PADETA)	5.9	1.5	5.1	7.4	9.6	10.6
Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática. (PETMA)	29,041.4	1.3	3.8	5.3	6.9	8.6
Potencial Eco Toxicidad Terrestre. (PETT)	0.3	1.5	5.2	7.5	9.8	8.4
Potencial Oxidación Fotoquímica. (POF)	0.0	1.5	5.4	7.9	10.3	13.4
Potencial de Acidificación (PA)	0.9	1.4	4.8	6.8	8.9	8.2
Potencial de Eutrofización (PE)	0.2	1.4	5.0	7.2	9.4	5.9
PROMEDIO	2,925.4	1.4	5.0	7.2	9.5	8.6

En el Tabla 59, se tienen los ratios de comparación del sustrato picón trasladado a diferentes distancias y el sustrato lana de roca. En la categoría del potencial del Agotamiento de los Recursos Abióticos, el trasladar el sustrato picón a una distancia de 100 kilómetros es 1.5 veces mas contaminante que al trasladarlo 50 kilómetros. En todas las categorías de impacto

se tiene que la categoría de potencial de Toxicidad Humana es la que presenta el menor impacto 1.2 veces mas y la categoría del Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico (PDOE) el mayor impacto 1.6, teniendo como promedio en todas las categorías 1.4 veces mas contaminante al realizar el traslado del sustrato picón a distancia de 100 kilómetros.

Al trasladar el sustrato picón a 500 kilómetros de distancia del lugar en donde se produce, en todas las categorías de impacto se tiene un promedio de 5.0 veces que es más contaminante, respecto a trasladarlo 50 kilómetros, la categoría mas afectada es el Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico 6.8 veces y la categoría de Toxicidad Humana 2.5 veces.

Al trasladar el sustrato picón a 750 kilómetros de distancia del lugar en donde se produce, en todas las categorías de impacto se tiene un promedio de 7.2 veces más contaminante, con respecto a trasladarlo 50 kilómetros, la categoría mas afectada es el Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico 10.0 veces mas contaminante y la categoría menos afectada es la de Toxicidad Humana con 3.2 veces.

Si se traslada a una distancia de 1000 kilómetros el sustrato picón, se tiene en todas las categorías de impacto un promedio de 9.5 veces mas contaminante, con relación a trasladar el sustrato 50 kilómetros, siendo la categoría de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico la mas afectada siendo 13.2 veces más contaminante y mientras que la categoría de Toxicidad Humana es 4.0 veces mas.

En el Tabla 59, podemos observar que el ratio promedio del sustrato lana de roca (2,423 km de distancia), es 8.6 veces mas contaminante que el sustrato picón al trasladarlo 50 kilómetros de distancia, la categoría de impacto mas afectada por la lana de roca es el Potencial Oxidación Fotoquímica con 13.4 veces mas contaminante, mientras que la categoría con menor impacto es la Toxicidad Humana con 4.4 veces mayor.

También es interesante el observar que apartir de los 500 kilómetros el sustrato picón, inicia a ser contaminante igual o mayor al sustrato lana de roca, en la categoría de Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES.

La metodología del ACV nos ha permitido caracterizar ambientalmente la producción de tomates bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria España. A continuación se presentan las principales conclusiones obtenidas en esta investigación, en base a los objetivos específicos propuestos.

6.1. Realizar un ACV comparativo entre dos tipos de invernaderos y diferentes tipos de sustratos.

1. Los resultados muestran que en relación a la comparación de la estructura de los dos tipos de invernaderos Parral y Multitúnel, en la mayoría de las categorías de impacto se mantienen los ratios entre los rangos de 0.36 a 0.59, siendo inferior a 1, en todas las categorías de impacto analizadas.
2. Para una producción similar del cultivo de tomate, el invernadero tipo Parral es menos contaminante que el invernadero Multitúnel, en lo que se refiere a la infraestructura.
3. De los tres sustratos analizados, es el sustrato Picón el que presenta un menor impacto para todas las categorías analizadas.
4. El mayor impacto lo presenta la lana de roca, con excepción de la categoría de Acidificación en que la fibra de coco presenta un valor más alto 7.1 y 8.3 Kg SO₂ equivalentes respectivamente. La causa se encuentra en la distancia entre producción del sustrato y las Islas Canarias y es que las emisiones de SO₂ y N₂O que intervienen en esta categoría se generan principalmente en la fase de transporte marítimo.
5. La utilización del sustrato lana de roca produce principalmente una carga ambiental en el proceso de fabricación, más que en el transporte. Este efecto se observa claramente en las categorías de toxicidad, especialmente en el Potencial Agua Dulce Eco Toxicidad Acuática con un 95%, mientras que el menor porcentaje se tiene en la categoría de potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico 49%.

6. El sustrato picón ocasionó un mínimo impacto en todas las categorías debido a la poca energía consumida en la fase de producción y la proximidad entre las zonas de obtención del sustrato y agrícolas (50 km).
7. En el estudio que se realiza sobre distancias, entre cantera de picón y agricultor se observa como a distancias a partir de 500 km el impacto se igualan con el producido por la utilización de la lana de roca.

6.2. Cuantificar el consumo de materias primas, energía y las emisiones de contaminantes generados por la producción, así como los residuos generados en el proceso productivo.

1. Las etapas con mayor impacto ambiental en la producción del cultivo de tomate en condiciones protegidas son: fertilizantes, comercialización y residuos.
2. Los fertilizantes utilizados en la producción del cultivo de tomate que está causando las mayores cargas ambientales son: nitrato de potasio, nitrato de calcio y el sulfato de potasio en las siguientes categorías de impacto Eutrofización, Calentamiento Global, Ozono Estratosférico, Toxicidad Humana, Toxicidad Acuática, Toxicidad Marino Acuática y Toxicidad Terrestre.
3. El fertilizante Nitrato de Potasio es el que está causando las mayores cargas ambientales en la categoría de Eutrofización en un 60.3%. Y las principales emisiones emitidas al aire son por los Oxidos de Nitrógeno, Amoníaco y Nitratos. Y en la categoría de Calentamiento Global el 59.5% de las cargas ambientales son por el fertilizante Nitrato de Potasio y las principales emisiones son generadas al aire por Dióxido de Carbono 47.0% y el 35.2% por el Monóxido de Dinitrógeno.
4. Las cargas ambientales asociadas al uso del fertilizante sulfato de potasio, están afectando a las categorías de Acidificación en un 43.2% y las principales emisiones son generadas por el Dióxido de Azufre 64.7%, Oxidos de Nitrógeno 13.1% y el por el Amoníaco 12.8%. En la categoría de Oxidación Fotoquímica el 46.6% de las cargas ambientales son asociadas al uso del fertilizante sulfato de potasio, mientras que las emisiones son producidas al aire por el Dióxido de Azufre en un 65.3% y el 12.2% por el Monóxido de Carbono.

5. Las cargas ambientales asociadas al uso del fertilizante nitrato de calcio están afectando a la categoría de Agotamiento de los Recursos Abióticos en un 41.8%. El agotamiento de estos recursos es por el consumo de las materias primas utilizados para la elaboración de los fertilizantes nitrato de calcio. El 60.1% del Agotamiento de estos Recursos Abióticos es por el consumo de gas natural, 23.1% por consumo de petróleo y el 12.2% por el consumo del Carbón.
6. La gestión de los residuos verdes en esta investigación resulta de suma importancia, debido a que las mayores cargas ambientales están afectando a todas las categorías de impacto estudiadas en un 93%, en el caso del invernadero tipo parral y de un 83% para el invernadero multitunel.
7. En la producción del cultivo de tomate la maquinaria utilizada fue: un tractor, una sulfadora, una pulverizadora y un motocultor, de esta maquinaria la pulverizadora es la que está generando las mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto, siendo la categoría de Eutrofización la más afectada en un 99.4% y la categoría del potencial de destrucción de Ozona Estratosférico con el menor porcentaje 90.9%.
8. De la maquinaria agrícola utilizada en todas las prácticas culturales, en la producción del cultivo de tomate, bajo condiciones protegidas, la pulverizadora es la que tiene el mayor consumo de energía $7.1E-03$ kWh/kg. ($2.6E-02$ MJ/kg) y esto se debe a la cantidad de horas que fue utilizada, para realizar la aplicación de productos fitosanitarios tales como: fertilizantes, insecticidas y fungicidas con un total de 900 h/Ha. de uso.
9. Al eliminar la pulverizadora del análisis de la maquinaria, se tiene que las mayores cargas ambientales están asociadas al uso del tractor agrícola en todas las categorías de impacto, siendo la categoría del Potencial de Agua dulce eco Toxicidad Acuática la más afectada 72.8% y la categoría menos afectada fue la de Ozono Estratosférico con un 69.9%.
10. Al comparar los diferentes tipos de maquinaria agrícola utilizada en las operaciones culturales en la producción del cultivo de tomate y la maquinaria utilizada en la construcción de los invernaderos y se determinó que el 95% de las cargas ambientales son generadas por la maquinaria agrícola en todas las categorías de impacto, mientras que el 5% restante de las cargas son generadas por la maquinaria utilizada en la construcción de los invernaderos (hormigonera y taladradora).

6.3. Determinar el balance energético general del ciclo de vida del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con atención a la sub etapa de transporte.

1. Debido a la insularidad de las Islas Canarias, la dependencia del transporte será un factor muy importante y por tanto la comercialización será siempre una de las más altas cargas, no sólo por el transporte marítimo sino también por la producción de cajas de carton, seria aconsejable el mejorar el proceso de embalaje a fin de reducir las cargas ambientales en la etapa de comercialización.
2. El transporte y los envases en donde se transportan los tomates han demostrado un alto consumo de energía, lo que se refleja en la mayoría de las categorías ambientales.

6.4. Generar recomendaciones para el mejoramiento de la sostenibilidad de la producción y comercialización del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.

1. Es de mucho interés el mantener las estructuras locales, tales como el invernadero tipo Parral. Siendo sin embargo esta estructura susceptible de mejora si se procediera a un cálculo de la estructura.
2. El sustrato picón, es una buena opción a nivel local y en las zonas productoras, siempre y cuando se homogenize el material, se mejore el manejo agronómico y el traslado del sustrato sea a distancias cortas ya que por su gran volumen no resulta ambientalmente interesante su traslado.
3. La poca energía utilizada en la producción del sustrato fibra de coco, puesto que no deja de ser un residuo, hace un sustrato interesante desde el punto de vista ambiental, la carga mas importante vendra por el traslado, siendo interesante que sea estrictamente vía marítima.
4. Debido a que es un material no biodegradable y al crecimiento de la superficie de invernaderos que utilizan el sustrato de lana de roca en las islas, puede existir la posibilidad de creación de plantas de reciclado, en donde el producto residual se

convierta en ladrillos que se destinan a la construcción, pero actualmente no existe ninguna en las Islas Canarias ni en la Península Ibérica.

5. Debido a la importancia de la gestión de los fertilizantes, este es uno de los principales aspectos que necesitan mayor atención con el fin de mejorar la aplicación de fertilizantes, los niveles son muy altos y sin duda sería posible rebajar la dosis, se recomienda experimentación en este sentido.
6. La gestión de los residuos ha mostrado no estar bien enfocada, debido a que toda la fracción verde es trasladada al vertedero, se recomienda la elaboración de compost con la biomasa verde (compostaje de la biomasa) y esto ayudaría a una importante reducción de las cargas ambientales en todas las categorías estudiadas.

6.5. Limitaciones.

Pese a que la metodología nos ha permitido cuantificar el proceso de producción de tomate bajo invernadero, existen sin embargo ciertos aspectos que no se han podido evaluar, estos son:

1. Analizar el impacto de los pesticidas. El estado actual de los ACVs, no permite un cálculo correcto del impacto de la aplicación de plaguicidas en las categorías de toxicidad. Por tanto sólo aquellos desde el punto de vista de consumo energético en la fabricación y aplicación. Hoy en día aun no existe entre la comunidad científica consenso de cuales son los indicadores a utilizar para las categorías de toxicidad humana y los ecosistemas.
2. Además carece de indicadores de uso del agua (recurso hídrico, recarga hídrica de los acuífero subterráneos, consumos de agua) y del suelo (edáficos, erosión, permeabilidad, densidad aparente, velocidad de infiltración, desecación, pendiente y salinización), siendo factores muy importantes en la agricultura.

NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.

Otros estudios tendría que considerar las energías renovables en la producción de manufacturas, por ejemplo, en plantas de desalinización.

Estudio de alternativas favorables para el envasado de la producción del cultivo de tomate.

Mejora del proceso de desalinización del agua, ya que este proceso requiere una cantidad significativa de energía.

Evaluar diferentes dosis de fertilización en la producción del cultivo de tomate en invernadero, con el objetivo de encontrar la dosis óptima y así realizar los ajustes en el uso de fertilizantes.

Realizar evaluaciones para determinar la lámina de riego adecuada para la producción de tomate en condiciones protegidas para la reducción del consumo de agua.

MATERIAL GENERADO EN ESTA TESIS.

Como producto adicional en esta tesis se ha preparado un documento en donde se describe la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y un estudio de caso, que se publicará en Guatemala.

REVISION BIBLIOGRAFICA

Antón, A. (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero Mediterráneo. Escola Tècnica Superior Enginyers Industrials de Barcelona. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. **Programa d'Enginyeria Ambiental**.

Antón, A., y Rieradevall J. (2004.). "I Seminario de Análisis del Ciclo de Vida y Agricultura". Xarxa Catalana d' Anàlisi del Cicle de Vida. Generalitat de Catalunya. Departament d' Universitats, Recerca I Societat de la informació.

Audsley, E. e. a. (1997). Harmonization of Environmental Life Cycle Assessment. Final Report concerted action AIR•-CT94-2028. 139 pp. europa, European Commission DG VI Agriculture. : 139.

Asman (2001). "Maschinenkosten 2000 - Kostenansätze Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen. En Nemecek T., coord. Life cycle inventories of agricultural production system, Dübendorf; 2003,p.44-51.

Bentrup, F., Küsters, J. (2000). Methods to estimate to potencial N emissions related to crop production. En: *Agricultural data for Life Cycle Assessments*, Weydema, B. & Meeusen, M. eds. The Hague. 133-151 pp.

Baixauli C. Agilar M. (2002), Cultivo sin Suelo de Hortalizas, Aspectos prácticos y experiencias, Generalitat Valenciana, Conselleria D' Agricultura Peixa y Alimentació.

Calderonlab (2007) [www. drcaideronlabs.com](http://www.drcaideronlabs.com), acaldero@cablenet.com. Consultado en febrero del año 2007.

Cowell, S. J. (1997). Environmental Life cycle Assessment of Agricultural Systems: integration into decision- making. Centre for Environmental Strategy. Guildford. , University of Surrey. Guildford. **PhD**.

Ecoinvent (2005). Ecoinvent Data v1.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. September 2005.

FAO. (2002). Faostat. Agricultural data Food and Agriculture Organisation of the United Nations. <<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>>. **Volume**, DOI, pagina consultada en el año 2007:

Guinée et.al (2002). Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Dordrecht, The Netherlands.

Infojardin (2007). [http://www.infojardin.com/huerto/plagas – huerto – huerta, htm](http://www.infojardin.com/huerto/plagas-huerto-huerta.htm). consultada el el mes de diciembre 2007.

ISO-14040. (2006). "Environmental management -life cycle assessment- Principles and framework. International Organisation for Standardisation ISO. Second edition.

ISO-14044. (2006). "Environmental management -life cycle assessment- Requirements and guidelines. International Organisation for Standardisation ISO. First edition.

Jensen, M. H., Collins, W.J. (1985). Hydroponic vegetable production. . Hort. Rev. . **7: 483-558.**

Libro Verde de tomate de Canarias, (2004), dicimbre. Gobierno de Canarias, Grupo Tragsa.

Matallana, A., Montero J. (1995), Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. Ediciones Mundi-Prensa.

Martínez, G. C. (2006). “Análisis de ciclo de vida del cultivo energético *Brassica sp.*” Trabajo de investigación del Doctorado en Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales-Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB). Marzo de 2006. 168 pp.

MAPA (2007). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
<http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/sustrato/analisis.asp> 26/04/2007.

Mateo Box, J. M. (1996). Manual de prácticas y actuaciones agroambientales. Editorial y Ediciones Mundi-prensa. Madrid. 310. Metcalf, R.L. (1995). Insecticides in pest management.

En: Introduction to insect pest management, Metcalf, R.L. y Luckman, W.H. (Ed). New York. Wiley. 235-273.

Milà, L. (2003). Contribution to Life cycle analysis for Agricultural systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment. Thesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Ciencias. Ballaterra, Facultad de Ciencias. **PhD**.

Ministerio de Medio Ambiente. (2005). Estudio de las características ambientales y económicas de los envases de cartón ondulado con respecto a los envases reutilizables de plástico utilizados en el transporte a larga distancia de productos hortofrutícolas. Universitat Politècnica de València (UPV), Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística (ITENE). Noviembre 2005. 98 pp.

Pérez Parra, J. L., J.C., Fernández, M.D. (2002). "La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción de la horticultura almeriense. En: la agricultura Mediterránea en el siglo XXI, García Álvarez-Coque, J.M.c._ed Almería."

Pimentel, D. (1980). "Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press. 475."

Rieradevall, J., Pere F. (1995). "Análisis del ciclo de Vida del producto – ACV (I), nueva herramienta de gestión ambiental. Universidad Autónoma de Barcelona, innovación química."

Stanhiil, G (1980). The energy cost of protected cropping : A comparison of six systems of tomato production. Journal Agricultural engineering Research. 25: 145-154.

Seminis.es (2007) www.seminis.es. Panfleto comercial de productos hortícola.

Vanden Mijzenberg, E. W. B. (1980). A history of Greenhouses. Institute for Agricultural Engineering. Wageningen, the Netherlands.

Weidema, B., Meeusen, M. (2000). "Agricultural data for Cycle Assessment. Agricultural Economics Research Institute. The Hague. 1. 157."

Wittwer, S. H., Castilla, N. (1995). "Protected Cultivation of horticultural crops worldwide. Horttech: 5(1). 6-23."

ANEXOS

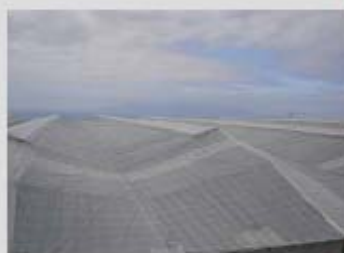
Life Cycle Assessment applied to tomato production in the Canary Islands.

A. Antón¹, W.E. de León¹, V. Raya², J.I. Montero¹,
P. Muñoz¹, M. Torrellas¹, M. Parra², M.C. Cid²

¹ IRTA Centre de Cabrils, 08348 Cabrils, Spain. assumpcio.anton@irta.cat
² ICIA, Estación Inv. Horticola, 35110 Vecindario, Gran Canaria, Spain.

Goal and scope definition

LCA tool has been applied to identify the most relevant environmental burdens associated to tomato production in the Canary Islands in order to improve local production and analyze the relative importance of transport in the whole process. Tomato crops are cultivated in low-technology greenhouses. This structure is known as *parral* type. Data for inventory represent the common practices in the area according to the Canarian Institut of Agriculture Research (ICIA).



Interpretation

These results are part of a more complete study related to protected horticulture in the Canary Islands. Some of the most relevant results are shown at this research. Currently, analyses are going on and are not finished yet therefore these results will be considered as preliminary.

Due to importance of Fertilizers management, this will be one of the main aspects that need further attention in order to improve fertilizers application. Commercialisation transport but also packaging have shown a high energy consumption, which is reflected in most of the environmental categories, with the exception of global warming. Another issue to be improved should be water production by desalination, a process that requires a significant amount of energy.

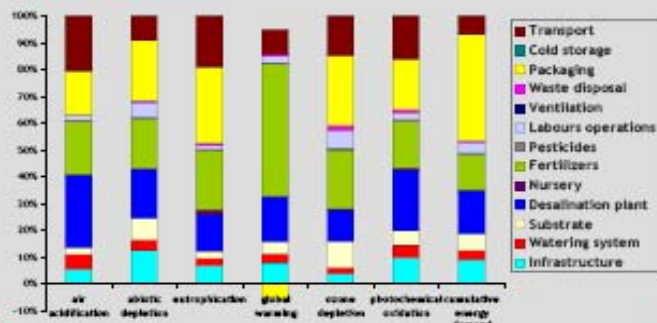
Recommendations:

- Interest to maintain local structures such as *parral* type greenhouse or local volcanic substrate (*picón*).
- Improvement of the packaging process in order to decrease commercialisation burdens
- Adjustment of fertiliser use and reduction of water consumption.
- Further studies would need to consider renewable energies in manufactures production, for instance in desalination plants

Inventory

INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	ISSUES	SOURCE
GREENHOUSE STRUCTURE	PROTECTED HORTICULTURE		steel, plastic wire, plastic cover, concrete, manufacture, transport	ICIA, EcoInvent
WATERING SYSTEM		pipe, pump, manufacture and transport, energy	ICIA, EcoInvent	
SUBSTRATE		plastic/wood, transport, plastic bag	ICIA, EcoInvent	
DESALINATION PLANT		energy	Wiley ISS	
NURSERY		greenhouse, watering, fog system, substrate, fertilizer	ICIA, IRTA	
FERTILIZERS		NO ₃ , NO ₂ , H ₂ O, H ₂ SO ₄ , SO ₂ , transport	ICIA, EcoInvent	
PESTICIDES		manufacture production, transport	ICIA, EcoInvent	
LABOUR OPERATIONS		electricity, pest control, machinery	ICIA, IRTA	
GREENHOUSE MANAGEMENT		energy	ICIA, IRTA	
COLD STORAGE		energy	EcoInvent	
PACKAGING		rolling cardboard, production of cartón board	ICIA, EcoInvent	
TRANSPORT		transoceanic freight ship, ferry	ICIA, EcoInvent	
TOMATOES				
NON-YIELD BIOMASS		transport, landfill	ICIA, EcoInvent	
WASTE	transport, landfill	ICIA, EcoInvent		

Impact assessment



Acknowledgements

This research was supported by
INA-RTA2005-0142-C02-02.

Life Cycle Assessment applied to tomato production in the Canary Islands.

M. Torrellas¹, W.E. de León¹, V. Raya², J.L. Montero¹,
P. Muñoz¹, M. Parra², M.C. Cid², A. Antón²

¹IRTA Centre de Cabris, 08348 Cabris, Spain. marta.torrellas@irta.cat
²ICIA, 35110 Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

Goal and scope:

Compare two greenhouse tomato production scenarios in the Canary Islands.
Functional Unit (FU): 1 hectare of greenhouse area

Inventory analysis: Data for the study were obtained from:

- Growers of Las Palmas de Gran Canaria
- Canarian Institute of Agricultural Research (ICIA)
- EcoInvent database

Figure 1. Multi-tunnel greenhouse scenario



Figure 2. Parral type greenhouse scenario



Table 1. Representative data for multi-tunnel and parral type greenhouses

Infrastructure	Multi-tunnel	Parral type
Steel frame (kg/ha)	2464.6	846.6
Posts and reinforcements	1291.3	712.7
Ventilators	712.4	81.8
Trellis system	51.8	52.1
Gutter	427.9	39 ¹
Roof	Arched, steel frame	Sloped, PC frame
Walls	PC	LDPE film
Covering	LDPE film	LDPE film
Auxiliary equipment	Drip irrigation	Drip irrigation
Water production	Desalination	Desalination
Substrate	Rock-wool	Picón ²
Climate system	Natural ventilation	Natural ventilation

¹ PP: Polypropylene; PC: Polycarbonate; PE: Polyethylene;
LDPE: Low Density Polyethylene - ²Picón: Local volcanic gravel

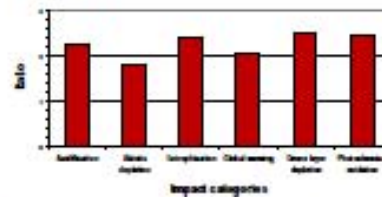
Figure 3. Definition of LCA tomato production system. Subsystems and processes from raw material extraction, manufacture, transport, use and waste disposal



Figure 4. Exportation transport and input materials transport

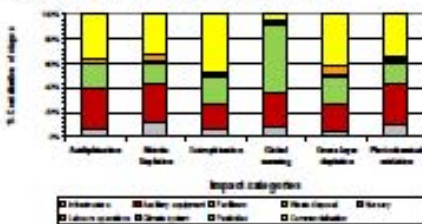


Graphic 2. Ratio between Multi-tunnel and Parral type Infrastructure for selected impact categories

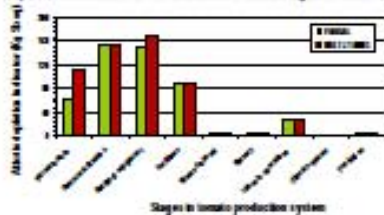


Impact assessment:

Graphic 1. Contribution of the stages in scenario parral type greenhouse to the selected environmental impact categories



Graphic 3. Contribution of Parral and Multi-tunnel stages to Abiotic depletion



Interpretation:

Commercialisation, auxiliary equipment and fertilizers were the stages with higher environmental impact in the tomato production.

Due to the insularity of the Canary Islands, commercialisation will always be one of the highest burdens, not only because of the sea transport but also because of the cardboard boxes production.

In auxiliary equipment, desalination is the main contributor to the process.

For a similar tomato production, parral type greenhouse is less contaminating than multi-tunnel greenhouse.

Recommendations:

- Improvement of the water desalination process.
- Study of friendly alternatives for tomato packaging.
- Adjustment of water and fertilizers application.

Tabla 60: cargas ambientales generadas por la producción mas el traslado de tres tipos de sustratos.

CATEGORÍAS DE IMPACTO	UNIDAD	SUSTRATO PICON	SUSTRATO FIBRA DE COCO	SUSTRATO LANA DE ROCA
Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA)	kg Sb eq	9.8E-01	3.8E+00	8.8E+00
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	kg CO2 eq	1.4E+02	5.5E+02	1.1E+03
Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico (PDOE)	kg CFC-11 eq	1.9E-05	7.3E-05	9.0E-05
Potencial de Toxicidad Humana (PTH)	kg 1,4-DB eq	9.2E+01	2.5E+02	3.9E+02
Potencial Agua Dulce eco Toxicidad Acuática. (PADETA)	kg 1,4-DB eq	6.5E+00	1.8E+01	6.2E+01
Potencial Eco Toxicidad Marino Acuática. (PETMA)	kg 1,4-DB eq	3.0E+04	1.1E+05	2.5E+05
Potencial Eco Toxicidad Terrestre. (PETT)	kg 1,4-DB eq	3.0E-01	1.2E+00	2.2E+00
Potencial Oxidación Fotoquímica. (POF)	kg C2H4	2.5E-02	2.6E-01	3.2E-01
Potencial de Acidificación (PA)	kg SO2 eq	9.6E-01	8.3E+00	7.1E+00
Potencial de Eutrofización (PE)	kg PO4--- eq	1.9E-01	8.6E-01	9.6E-01

Tabla 61. porcentajes de cada sustancia que producen las emisiones por tipo de sustrato por categoría de impacto.

1	ARA	FIBRA DE COCO	PICON	ROCK WOOL	
	Oil crude, in ground	92.9	72.2	34.6	
	Gas natural, in ground	5.7	10.1	19.4	
	Coal, hard, unspecified, in ground	0.0	9.2	42.5	
	Coal, brown, in ground	0.0	8.4	0.0	
2	PCG	fibra de coco	picón	rock wool	
	Dioxido de carbono fosil	97.4	95.8	100	
	Metano fosil	1.7	2.4	0.0	
3	PDOE	fibra de coco	picón	rock wool	
	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	99.4	93.3	78.8	
	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	0.5	4.7	16.3	
4	PTH	fibra de coco	picón	rock wool	
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0.1	52.5	0.7	Air
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	45.5	22.0	16.8	Air
	Particulates, < 2.5 um	0.1	13.2	0.3	Air
	Nickel	31.1	1.3	4.7	Air
	Benzene	4.7	1.0	19.6	Air
	Benzene	0.4	0.2	39.1	Agua
5	Fresh water aquatic ecotox.	fibra de coco	picón	rock wool	
	Vanadium, ion	7.4	26.5	59.9	Agua
	Copper, ion	2.1	20.2	5.1	Agua
	Nickel, ion	2.8	12.0	5.8	Agua
	Beryllium	2.1	10.8	4.4	Agua

	Barium	26.4	10.7	4.9	Agua
	Cobalt	0.9	5.0	1.9	Agua
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	17.0	4.6	2.2	Agua
	Nickel	25.6	0.5	0.7	aire
6	Marine aquatic ecotoxicity	fibra de coco	picón	Rock wool	
	Beryllium	3.2	31.0	17.1	
	Barium	38.1	25.3	15.1	
	Vanadium, ion	2.0	12.4	37.4	
	Vanadium	8.2	10.8	13.7	
	Nickel	38.8	1.6	2.7	
7	Terrestrial ecotoxicity	fibra de coco	picón	Rock wool	
	Mercury	23.7	51.0	33.7	aire
	Vanadium	15.7	32.8	40.4	aire
	Zinc	4.7	6.7	3.6	suelo
	Nickel	42.2	2.7	4.4	aire
	Arsenic	10.5	2.0	2.2	aire
	Formaldehyde	1.3	1.9	12.6	aire
8	Photochemical oxidation	fibra de coco	picón	rock wool	
	Sulfur dioxide	80.9	38.8	41.6	
	Carbon monoxide, fossil	9.7	31.8	9.2	
	Formaldehyde	1.4	6.1	21.6	
9	Acidification	fibra de coco	picón	rock wool	
	Nitrogen oxides	36.8	68.3	32.8	
	Sulfur dioxide	62.6	24.7	49.1	
	Ammonia	0.7	7.0	18.2	
10	Eutrophication	fibra de coco	picón	rock wool	
	Nitrogen oxides	94.0	88.0	64.0	
	Ammonia	1.0	8.0	30.0	
	COD, Chemical Oxygen Demand	4.0	4.0	5.0	

Tabla 62: cargas ambientales generadas en la fabricación y transporte de tres tipos de sustratos, en unidades equivalentes

CATEGORIAS DE IMPACTO		Unidad de medida	LANA DE ROCA			FIBRA DE COCO			PICON		
			FABRICACION	TRANSPORTE	TOTAL	FABRICACION	TRANSPORTE	TOTAL	FABRICACION	TRANSPORTE	TOTAL
ARA	Agotamiento de Recursos Abióticos	Kg Sb eq.			7.6E+00			2.8E+00			7.5E-01
	Coal, hard, unspecified, in ground		3.4E+00						6.7E-02	2.6E-02	
	Gas, natural, in ground		1.5E+00				1.6E-01		7.6E-02		
	Oil, crude, in ground			2,62E+00			2.6E+00		2.0E-01	5.1E-01	
PCG	Potencial de Calentamiento Global	Kg CO ₂ eq.			9.9E+02			4.3E+02			1.1E+02
	Carbon dioxide, fossil		9.9E+02			4.2E+02				1.1E+02	
	Methane, fossil					7.2E+00				2.6E+00	
PDOE	Potencial de Destrucción de Ozono Estratosférico	Kg CFC-11 eq.			7.0E-05			5.8E-05			5.8E-05
	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	aire	5.5E-05				5.7E-05			5.7E-05	
	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	aire	1.1E-05						2.6E-07		
PTH	Potencial de Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq			2.6E+02			1.9E+02			8.6E+01
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	aire							5.1E+01		
	Particulates, < 2.5 um	aire							1.3E+01		
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	aire	4.3E+01				8.7E+01		2.2E+01		
	Benzene	aire	5.1E+01								
	Benzene	agua	1.0E+02								
	Nickel, ion	agua					5.9E+01				
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	agua	7.5E+00								
PADETA	Potencial Agua dulce eco Toxicidad Acuática	kg 1,4-DB eq			3.2E+01			4.2E+00			3.3E+00
	Vanadium, ion		1.9E+01						8.7E-01		
	Copper, ion		1.6E+00						6.6E-01		
	Nickel, ion		1.8E+00				1.1E+00		3.9E-01		
	Beryllium								3.5E-01		
	Barium						1.1E+00		3.5E-01		
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons						7.1E-01		0.0E+00		
	otras sustancias		1.5E+00				2.9E-02		4.5E-02		
	PETMA	Potencial eco toxicidad Marino Acuática	kg 1,4-DB eq			4.9E+04			1.65E+04		
Vanadium, ion			2.5E+04				1.7E+03		1.6E+03		
Barite											
Barium			7.4E+03				6.3E+03		1.7E+03		
Beryllium			8.4E+03						2.1E+03		
Nickel, ion			2.6E+03				6.4E+03				
PETT	Potencial Eco Toxicidad Terrestre	kg 1,4-DB eq			9.1E-01			4.7E-01			1.2E-01
	Mercury	aire	3.1E-01			1.1E-01			6.1E-02		

	Niquel	aire				2.0E-01				
	Vanadium	aire	3.7E-01			7.3E-02			3.9E-02	
	Arsenico					4.9E-02				
	Formaldehyde	aire	1.1E-01			4.3E-01				
	Zinc	Suelo							8.1E-03	
POF	Potencial Oxidación Fotoquímica	kg C2H4				2.9E-01			2.38E-01	2.1E-02
	Sulfur dioxide		1.2E-01			1.9E-01			8.1E-03	
	Formaldehyde		6.3E-02			3.4E-03			1.3E-03	
	Carbon monoxide, fossil		2.2E-02			2.3E-02			6.7E-03	
PA	Potencial de Acidificación	Kg SO ₂ eq.				6.2E+00	2.2E-01		7.7E+00	8.2E-01
	Sulfur dioxide	aire	3.1E+00					4.8E+00	2.0E-01	
	Nitrogen oxides	aire	2.0E+00					2.8E+00	5.6E-01	
	Ammonia	aire	1.1E+00					5.0E-02	5.7E-02	
PE	Potencial de Eutrofización	Kg PO ₄ ⁻² eq.				8.3E-01			7.8E-01	1.7E-01
	Nitrogen oxides	Air	5.3E-01					7.4E-01	1.5E-01	
	Ammonia	Air	2.5E-01					1.1E-02	2.5E-01	
	COD, Chemical Oxygen Demand	agua	4.3E-02					3.4E-02	4.3E-02	

INSTITUCIONES PARTICIPANTES EN LA INVESTIGACION



Universidad Autónoma de Barcelona
Doctorado en Ciencias Ambientales



SOSTENIBILIDAD I PREVENCIÓ AMBIENTAL



**INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS
GUATEMALA C.A.**



**Programa Internacional de Becas
Fundación Ford – CIRMA**

