



Proyecto de Grado

Presentado ante la ilustre Universidad de Los Andes como requisito final para obtener el Título de Ingeniero de Sistemas

Desarrollo de un Sistema Web para la Medición de la Huella Ecológica en la Actividad Agrícola en Venezuela

Por

Br. Valdés Virla Luis Guillermo

Tutor: Profesora Díaz Morales Katty Marisabel

Cotutor: Profesor Hernández Domingo

Enero 2018

©2018 Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

C.C. Reconocimiento

Desarrollo de un sistema web para la medición de la huella ecológica en la actividad agrícola en Venezuela.

Br. Valdés Virla Luis Guillermo

Proyecto de Grado — Investigación de Operaciones, Escuela de Ingeniería de Sistemas,
Universidad de Los Andes, 2018

Resumen

La Huella Ecológica es un indicador usado para la toma de decisiones en cuanto a la mitigación del daño ecológico generado por la actividad del ser humano, desarrollado a partir del concepto de Desarrollo Sostenible, el cual, busca garantizar la preservación de los recursos naturales para la posteridad. El método de cálculo de la Huella Ecológica se basa en la estimación de la superficie de tierra productiva necesaria para satisfacer los consumos asociados a la alimentación, a los productos forestales, al gasto energético y a la ocupación directa del terreno, y de esta manera, se pueden crear estrategias para reducir el impacto inducido por las actividades humanas. En este trabajo se desarrolló un sistema web que permite realizar el cálculo de la Huella Ecológica generado por las actividades agrícolas en general que se practican en Venezuela, a través de variables comunes extraídas a partir de los elementos que intervienen en la producción de cualquier tipo de cultivo de acuerdo a este método. El trabajo fue realizado siguiendo los pasos del método White-Whatch (versión 1.2) y para el modelado se utilizó UML 2.0 (Unified Modeling Language). En el desarrollo del mismo, se hizo uso de un sistema gestor de base de datos (MariaDB), bajo una interfaz usuario-servidor programado en lenguaje PHP y en cuanto a la interfaz gráfica con el usuario, esta se desarrolló en lenguaje HTML junto con JavaScript, ideal para este tipo de proyecto.

Palabras Clave: Huella Ecológica, sostenibilidad ambiental, desarrollo sostenible, actividad agrícola, sistema web.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Justificación y delimitación del problema	7
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo principal	11
1.4.2 Objetivos específicos	11
1.5 Metodología	11
1.5.1 Método de la Huella Ecológica.....	11
1.5.2 Método White-Watch.....	12
Capítulo 2 Marco teórico	13
2.1 El desarrollo sostenible	13
2.1.1 Antecedentes del desarrollo sostenible	14
2.1.2 El desarrollo sostenible	20
2.1.3 Indicadores de desarrollo sostenible	23
2.2 Indicador de sustentabilidad: ¿qué es?	24
2.2.1 Características de los indicadores de sustentabilidad	25

2.3 Indicadores de Desarrollo Sostenible.....	26
2.3.1 Tipología de los indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible	27
2.4 Indicadores de desarrollo sostenible de tercera generación	28
2.5 La Huella Ecológica.....	29
2.5.1 Superficies productivas.....	31
2.5.2 Productividad natural	32
2.5.3 Productividad energética.....	33
2.5.4 Factor de equivalencia	34
2.5.5 Contra-huella, factor de rendimiento y capital natural	35
2.5.6 Proceso del método del cálculo de la HE.....	36
2.6 Método White Whatch.....	42
2.6.1 Modelo de procesos del método	42
2.7 UML.....	46
2.8 MariaDB	47
2.8.1 Base de datos.....	47
2.8.2 Sistema de gestión de base de datos	48
2.8.3 Estructura de datos relacional	48
2.8.4 Modelo entidad relación	49
2.8.5 MariaDB	49

2.9 JavaScript.....	49
2.10 PHP	50
Capítulo 3 Diseño y requerimientos del sistema web para el cálculo de la Huella Ecológica en actividades agrícolas	51
3.1 Análisis de requerimientos.....	51
3.1.1 Requisitos funcionales	52
3.1.2 Requisitos no funcionales	53
3.1.3 Modelado de actores	53
3.2 Casos de uso.....	55
3.2.2 Diagramas de casos de uso	56
3.2.3 Descripción textual de los casos de uso	58
3.3 Diseño de interfaz	65
3.3.1 Grafo de navegación	67
3.3.2 Estilo visual de las ventanas	69
3.4 Diseño de la base de datos	70
3.4.1 Modelo entidad-relación	70
3.4.2 Modelo relacional	71
Capítulo 4 Implementación y prueba.....	72
4.1 Implementación del sistema.....	72
4.1.1 Construcción interfaz usuario/sistema	72

4.1.2 Componentes de la aplicación de la HEA.....	78
4.1.3 Componentes de la consulta de historial de la HEA.....	79
4.1.4 Procedimientos implementados en el sistema web de la HEA.....	81
4.2 Pruebas del sistema web HEA	83
4.2.1 Pruebas de gestión de usuario	83
4.2.2 Pruebas de creación de unidad productiva.....	86
4.2.3 Pruebas de cálculo de la HEA.....	86
4.2.4 Pruebas de la consulta de historial HEA.....	93
4.2.5 Pruebas de la consulta de un resultado de la HEA	95
4.3 Pruebas de funciones del sistema web.....	95
4.4 Pruebas de navegación.....	97
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.	100
5.1 Conclusiones	100
5.2 Recomendaciones	101
Bibliografía	104
Anexos	110
Anexo A Método White-Watch.	111
Anexo B Implementación y pruebas del sistema web.	126

Lista de tablas

Tabla 1: Superficies productivas de la Huella Ecológica	32
Tabla 2: Factores de equivalencia por superficie productiva.....	35
Tabla 3: Procesos que intervienen en el sistema web.	46
Tabla 4: Modelado de actores	54
Tabla 5: Casos de uso.	56
Tabla 6: CU1 Visualizar información de la HE.....	58
Tabla 7: CU2 Visualizar información institucional.	59
Tabla 8: CU3 Registro de usuario.....	60
Tabla 9: CU4 Ingresar al sistema.....	61
Tabla 10: CU5 Calcular HEA.	62
Tabla 11: CU6. Historial HEA.....	63
Tabla 12: CU7. Crear unidad productiva.	64
Tabla 13: CU9 Consultar resultado específico de la HEA.	64
Tabla 14: Procedimientos implementados en el sistema web HEA.	83
Tabla 15: Prueba de funciones.....	97
Tabla 16: Pruebas de navegación.....	99
Tabla A.1: Proceso gerencial.	112
Tabla A.2: Procesos de desarrollo.	114

Tabla A.3: Diseño de software.....	119
Tabla A.4: Aprovisionamiento de componentes.....	120
Tabla A.5: Ensamblaje del sistema de software.	123
Tabla A.6: Pruebas del diseño de software.....	124
Tabla A.7: Entrega del sistema de software.....	125

www.bdigital.ula.ve

Lista de figuras

Figura 1: Datos de la Huella Ecológica en Venezuela. Global Footprint Network (2018).	9
Figura 2: Modelo de procesos del método White-Watch	43
Figura 3: Flujo de trabajo del método White-Whatch	45
Figura 4: Diagrama de caso de uso (CU4). Ingresar al sistema.	57
Figura 5: Diagrama de casos de uso.	57
Figura 6: Áreas que conforman la interfaz gráfica del sistema web.	65
Figura 7: Arquitectura cliente-servidor.	66
Figura 8: Grafo de navegación.	67
Figura 9: Modelo entidad relación.	70
Figura 10: Página de inicio del portal web.	73
Figura 11: Iniciar sesión.	74
Figura 12: Registro de usuario.	75
Figura 13: Ventana HEA.	76
Figura 14: Ventana insertar UP.	77
Figura 15: Ventana gestionarUP.	78
Figura 16: Interfaz de cálculo de la HEA.	79
Figura 17: Interfaz gráfica del historial de la HEA.	80
Figura 18: Consulta de resultado de la HEA.	81

Figura 19: Registro satisfactorio.....	84
Figura 20: Correo ya registrado en el sistema.	84
Figura 21: Ingreso de datos no válidos en el inicio de sesión.....	85
Figura 22: Unidad productiva registrada satisfactoriamente.	86
Figura 23: Llenado de datos de la aplicación HEA.	91
Figura 24: Muestra de resultado de la aplicación HEA.	92
Figura 25: Dato faltante en la aplicación de la HEA.	92
Figura 26: Historial de la HEA de un usuario.....	93
Figura 27: Datos extra de la HEA suministrados por el sistema.	94
Figura 28: Gráfica sin datos suministrados por el usuario.....	94
Figura 29: Resumen de datos de medición de la HEA.	95
Figura B.1: Pie de página (footer) del portal web.....	126
Figura B.2: Conoce sobre la HE (parte superior).	126
Figura B.3: Conoce sobre la HE (parte inferior).....	127
Figura B.4: Quienes somos (parte superior).	127
Figura B.5: Olvido de contraseña.	128
Figura B.6: Crear nueva contraseña.....	128
Figura B.7: Ventana seleccionarUP.....	129
Figura B.8: Dato faltante en registro de unidad productiva.....	129

Capítulo 1

Introducción

Las actividades agrícolas a nivel mundial están en un crecimiento apresurado debido a la demanda en las exigencias alimentarias de la población mundial, donde se reflejan cifras que indican que el hambre parece estar aumentando de nuevo. Se estima que el número de personas subnutridas aumentó a 815 millones en 2016, en comparación con los 777 millones de 2015. Estos aumentos han sido agravados por perturbaciones relacionadas con el clima. Los datos expresados anteriormente son producto de investigaciones realizadas por importantes organizaciones internacionales como lo son la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Alimentos (PMA) y Fondo de las Naciones Unidas para la infancia (UNICEF) (2017).

La necesidad de tomar acciones que permitan el control y mitigación del impacto ecológico que ejercen estas actividades, se ha convertido en prioridad en gran cantidad de naciones que cada vez se encuentran más preocupadas por los sectores que amenazan la preservación de recursos alimentarios de sus habitantes, además de garantizar la disponibilidad de los elementos necesarios para la producción de dichos recursos. Es así como han surgido gran cantidad de ideas y proyectos que se han encargado de cubrir esta problemática, dando origen a métodos que facilitan la creación de estrategias que den camino a soluciones eficientes y que ayudan de manera directa a los sectores productivos de pequeña y gran escala. Uno de estos métodos es la Huella Ecológica (HE), desarrollado por los autores Wackernagel y Rees (1996), la cual, ha tomado un importante auge en su aplicación por ser de gran ayuda, con alta aproximación en el resultado del cálculo respecto a la realidad y de fácil ejecución.

Lo que se pretende en el presente trabajo, es tomar una de los métodos más usados a nivel mundial para el cálculo del impacto ecológico producido por las actividades humanas,

como lo es la HE, e implementarla en un sistema web, con el fin de crear una herramienta útil y amigable con el usuario, dando paso a un nuevo camino de control y reducción de impacto al medio ambiente por parte de las actividades agrícolas que hacen vida dentro de nuestro territorio nacional, pero al mismo tiempo siendo útil fuera de las fronteras gracias a la versatilidad que posee el mismo método de cálculo en cuanto a la globalización de los elementos que la constituyen y de su capacidad adaptativa, ayudando con la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras.

El desarrollo de este trabajo se encuentra constituido en 5 capítulos donde se explica detalladamente el proceso constructivo del sistema web que se desea implementar:

El capítulo I, presenta los antecedentes del presente trabajo y el problema a tratar, explicando las razones por la cual es necesario tomar medidas y utilizar las tecnologías al alcance para la cuantificación del impacto ecológico sobre el medio ambiente, se define el objetivo general y los objetivos específicos que se desean lograr al finalizar el trabajo y se presentan los métodos implementados para el desarrollo del sistema web. En el capítulo II, se definen las bases teóricas sobre la cual se apoya el método de la HE, y explicando el proceso metodológico y de cálculo para su implementación. En el capítulo III, se define el diseño del sistema web que se desea desarrollar junto a los requisitos necesarios para lograr una interfaz eficiente y amigable con el usuario, los actores que intervienen junto a los casos de uso que se presentan y finalmente el diseño de la base de datos requerida para el correcto funcionamiento del sistema. El capítulo IV, se realiza la implementación y prueba del sistema web, con el fin de garantizar que todos sus componentes cumplan con las tareas y las exigencias que el usuario debe realizar dentro del mismo. Finalmente el capítulo V, se realizan las conclusiones en cuanto al trabajo desarrollado y se presentan las recomendaciones pertinentes para lograr una evolución mejorada del sistema en proyectos futuros.

1.1 Antecedentes

Existen distintos softwares (algunos de ellos son nombrados a continuación) que realizan una medición de la HE, aunque solo de forma personal o individual, es decir, no se enfocan en las actividades agrícolas específicamente, sino que calculan a partir del empleo de energía, generación de residuos y utilización de agua potable entre otros, si la vida de un individuo es sostenible o no. Estas iniciativas se encuentran comúnmente en páginas web gubernamentales o de organizaciones orientadas a la preservación del medio ambiente, siendo una de las más importantes y conocidas la desarrollada por la Global Footprint Network (<https://www.footprintnetwork.org>) (2017), en donde se pueden conseguir datos de la HE de cada país, incluyendo mapas de los déficit ecológicos a nivel mundial, además de la calculadora de la HE, en idioma anglosajón. Otros desarrollos, no menos importantes, también se pueden encontrar en la web, como “Mide tu huella ecológica” (<http://www.tuhuellaecologica.org/>) (Diputación Foral del Bizkaia, Global Action Plan y Fundación Vida Sostenible, s/f), un software para determinar mediante la HE si un individuo posee una vida sostenible según su consumo energético, de agua, uso de transporte y generación de residuos, específicamente para la localidad de Euskadi, España.

Otro software usado para calcular la HE personal es la iniciativa del Ministerio del Ambiente del gobierno ecuatoriano, donde se ha creado un proyecto para la "Identificación, Cálculo y Mitigación de la Huella Ecológica del Sector Público y Productivo del Ecuador" (<http://huella-ecologica.ambiente.gob.ec/>) (2011), planteándose como objetivo principal calcular la HE Nacional para facilitar la toma de decisiones y proponer políticas públicas encaminadas a reducir el consumo de recursos y la generación de residuos, con la finalidad de evitar que la HE supere la biocapacidad local, el cual, se encuentra mejor adaptado al contexto latinoamericano.

Un importante desarrollo informático, es la herramienta de la Asociación de Desarrollo Rural de Andalucía (<http://andaluciarural.org/aphuella>) (ARA, 2012), que además de tener

un sistema para la medición de la HE personal y de actividades de oficina, también posee la opción para realizar el cálculo de la HE para empresas agrarias, con la inserción de una serie de variables que permiten conocer el impacto ecológico de una actividad agrícola, siendo éstas variables energéticas, de transporte, consumo de agua y gastos en fertilizantes y papel. Este sistema solo permite conocer el resultado sin ahondar en el concepto metodológico, es una herramienta informativa, que pretende promover las buenas prácticas agrarias y el uso de la tecnología.

Se encuentran varios trabajos en algunas localidades del mundo referentes a la HE, pero en el caso de Venezuela el método de cálculo se adaptó para estudiar un cultivo en particular en una localidad específica, tal como es el caso de la producción del cacao en el municipio Caracciolo Parra y Olmedo del estado Mérida, en el trabajo realizado por Díaz y Rivera (2016). En el mencionado estudio se hace una aproximación en el cálculo del impacto ambiental y la sostenibilidad de dicho cultivo a partir del uso de energías fósiles, energías incorporadas en la maquinaria utilizada, la biocapacidad del territorio, entre otras variables asociadas.

También en Venezuela se ha desarrollado un software para el cálculo de la HE individual realizado por León Socorro (<http://www.huellaecologica.com.ve/>) (2012), ganador del premio “Bayer Encuentro Juvenil Ambiental 2012”. Este software llamado “La huella ecológica en Venezuela”, ha sido pionero a nivel nacional, ya que anteriormente no existían herramientas tecnológicas que permitieran calcular el impacto ambiental de los venezolanos.

Cabe destacar que no se ha encontrado información de un software o sistema web dedicado especialmente a actividades agrícolas, para calcular su HE o si dicha actividad es sostenible o no, por lo que lo convierte en una propuesta innovadora y necesaria para el desarrollo sostenible, debido a que contribuye con la posibilidad de conocer el daño que puede ocasionar una determinada actividad agrícola y las variables que puedan manipularse para mitigar este impacto.

1.2 Planteamiento del problema

La agricultura ha sido una de las actividades más antiguas en el mundo y el ser humano ha perfeccionado y desarrollado prácticas para garantizar su supervivencia a lo largo de su existencia, para las cuales, es necesario el uso de extensiones de tierra y energía que inherentemente generan residuos y un impacto visible en el medio ambiente. Desde hace 10.000 años aproximadamente, la evolución de estas actividades agrícolas ha sido un punto clave para satisfacer las necesidades que han surgido por el desarrollo y la emancipación de las sociedades que han puesto la pauta en este campo y, para las cuales, la caza y la pesca no fueron suficiente para garantizar la alimentación de estos pueblos. Desde las siembras de trigo en el medio oriente, las de arroz en el continente asiático y las avanzadas tecnologías de los Mayas, Aztecas e Incas en el continente americano, se han utilizado distintas herramientas y técnicas que han ayudado a estas prácticas ser suficientes para mantener grandes grupos e incluso intercambiar sus productos a través de las rutas comerciales terrestres y marítimas para alcanzar su estabilidad y calidad de vida.

El aumento acelerado de la población mundial hizo que estas actividades tuvieran que dar un salto en términos de cantidad, presionando hasta el punto donde surge el arado con animales para cubrir mayores extensiones de tierra a finales del siglo XIX y de esta manera iniciar el lento pero constante proceso de desarrollo tecnológico que busca explotar este sector de manera extensiva e intensiva. Este proceso es explicado por primera vez por el economista de origen británico Robert Malthus (1798), quien plasma sus estudios acerca de la población y la producción de alimentos en lo que se ha convertido en la famosa teoría maltusiana, la cual propone que la población crece de forma exponencial mientras que la producción de alimentos de forma aritmética.

Luego de la revolución industrial, la agricultura ha sido intensificada para satisfacer la demanda mundial y conforme a esto, se ha desarrollado una diversidad tecnológica que ha facilitado esta actividad para garantizar la alimentación de una población en constante aumento. Pero consecuentemente, también lo ha hecho el impacto ambiental que dichas

actividades han creado, y que día a día se convierte en un asunto más difícil de tratar, ya que al aumentar las áreas agrícolas y el uso de maquinaria y tecnologías (fertilizantes y otros medios aceleradores de crecimiento vegetal) también lo hace la contaminación y la degradación de suelos a causa del consumo masivo de energías fósiles y fertilizantes. Uno de los organismos creados para tratar el asunto mundial de agricultura es la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la cual, ha hecho estudios que demuestran que la agricultura mundial ha sido capaz de responder a la demanda creciente de productos agropecuarios (FAO, 2016). Sin embargo, paralelamente, se han generados cambios climáticos a causa de esta actividad tan importante, donde la agricultura tiene un papel fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y aumentar la resiliencia ante los efectos del cambio climático, así como en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el hombre (FAO, 2016).

En el caso venezolano, particularmente, se ha visto un intento por desarrollar técnicas e importar tecnologías para incrementar la producción agrícola a nivel nacional. El uso extensivo de tierras en la zona de los llanos, sur del lago y la región andina han contribuido en los últimos cincuenta años con atender la demanda, la cual, cumple con los comportamientos mundiales de aumento en la población, y así las actividades agrarias también lo hacen. El asunto importante, es el mismo que se ha planteado en la FAO y debe ser una de las prioridades principales para las autoridades competentes en la región, ya que estas actividades no presentan un control visible que regulen la explotación de las tierras de manera responsable para reducir el impacto ambiental que generan. El estado Mérida, es uno de los productores principales a nivel nacional en el sector agrícola, con una variedad que supera a la mayoría de los estados y requiere de una gran atención por ser una zona con amplia diversidad de flora y fauna, afectada directamente por el uso desmesurado de tierras no disponibles para la agricultura a través de la quema y tala dentro de los parques nacionales Sierra Nevada y Sierra La Culata, con el fin de expandir las fronteras agrícolas y económicas de igual manera. Esta situación se ve influenciada por la capacidad de exportación hacia otras regiones del país que posee el estado Mérida.

Aún se desconoce el impacto ambiental que la actividad agrícola genera en la superficie que se cultiva y cosecha en Venezuela. Son escasas sus mediciones y es impreciso señalar que la actividad agrícola sea sustentable, sin cuantificar el impacto que produce la intervención de la tierra y las actividades que de allí se desprenden.

La necesidad de conocer el impacto ambiental surge de la idea de practicar un uso responsable de los recursos y los desechos que estos generan, por lo tanto, es importante incorporar valores que logren una aproximación a la realidad a partir de modelos como los de la HE, la cual se ha convertido en una herramienta útil para casos de impacto ambiental, pero que en la actualidad no ha sido aplicada de manera importante y relevante en Venezuela. De esta forma, el problema ambiental regional se ve abordado por varios factores negativos que pueden ser disminuidos con la aplicación del método de la HE en las actividades agrarias. Todo ello con la finalidad de aumentar la productividad con un mínimo riesgo ambiental que perjudique a las generaciones futuras, y así se alcance una sostenibilidad que permita la correcta distribución de alimentos a lo largo del territorio nacional y en el tiempo.

A partir de este interés hacia el desarrollo sustentable se plantean las siguientes interrogantes: ¿la medición de este impacto podría realizarse a través de la aplicación de un sistema web? ¿Puede la huella ecológica como indicador ser incorporada en un sistema web que permita su medición? Y finalmente ¿puede este instrumento ser aplicado a cualquier cultivo de los desarrollados en nuestro contexto edafoclimático en el país? En tal sentido, el uso de una herramienta informática puede contribuir con las mediciones de impacto ambiental, en las diferentes etapas de la producción agrícola.

1.3 Justificación y delimitación del problema

Uno de los temas más importantes y controversiales tratados a nivel mundial es el cambio climático, el cual ha sido un motivo para el desarrollo de investigaciones científicas e iniciativas por todo el mundo, tanto de organizaciones y personas individuales, así como

grandes empresas transnacionales que han invertido económicamente para lograr llegar a conclusiones acertadas con respecto a esta problemática.

Se han realizado acuerdos como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 y el Protocolo de Kyoto en 1997 para velar por la preservación del ambiente y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero que han aumentado la temperatura mundial y condicionado los sistemas productivos para garantizar la alimentación mundial. Es por ello que uno de los asuntos que se ha convertido en prioridad durante los últimos años es la seguridad alimentaria. El tema fue tratado en la XXI Conferencia sobre el Cambio Climático celebrada en París en diciembre de 2015, donde se firmó el Tratado de París, el cual reconoce la importancia fundamental de salvaguardar la seguridad alimentaria y acabar con el hambre y la especial vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos a los impactos del cambio climático (FAO, 2015).

La contaminación y el uso excesivo del agua y la tierra amenazan con el desarrollo de los países, producto del aumento de la población mundial, la cual, se proyecta que va a alcanzar los 9.000 millones de habitantes para el 2050 según datos del Banco Mundial (2014).

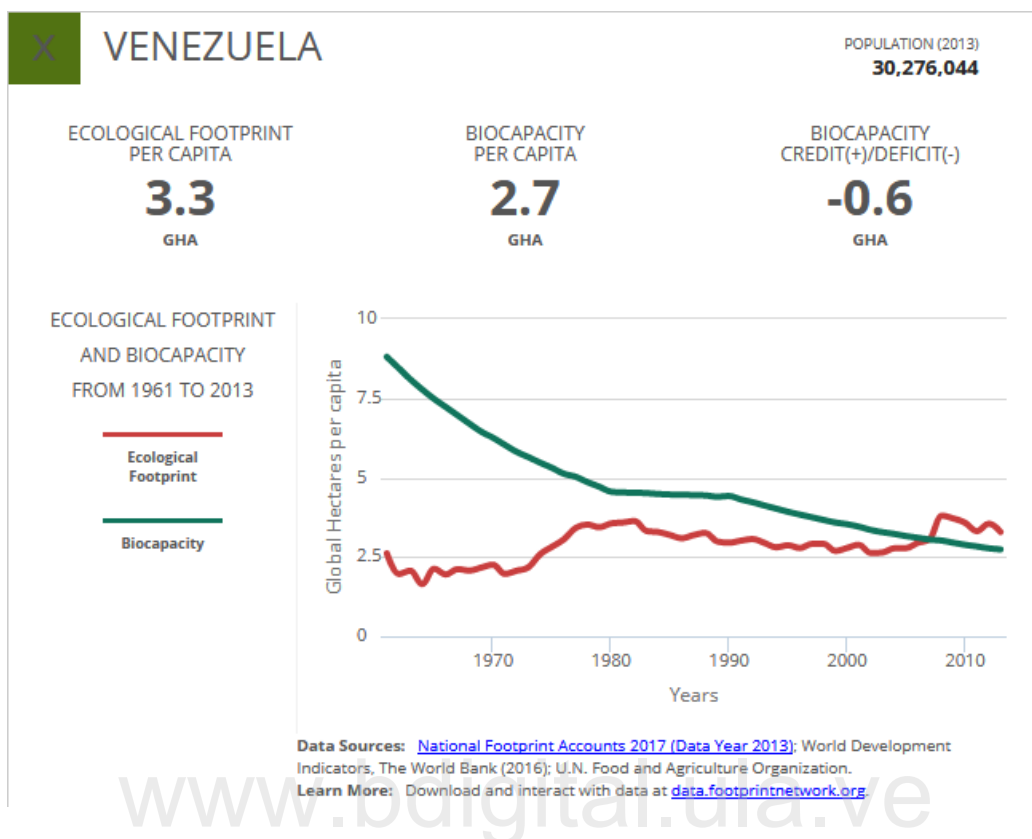


Figura 1: Datos de la Huella Ecológica en Venezuela. Global Footprint Network (2018).

Datos revelan que en Venezuela existe un déficit ecológico mayor al 0% y menor al 50%, donde la HE per cápita es de 3.3Hag¹, mientras que la biocapacidad para sostener a la población es de 2.7Hag (Global Footprint Network, 2018), por lo que es un tema a tomar en cuenta, ya que se encuentra amenazado el futuro estable tanto económico como ambiental de nuestro país. De esta manera, es importante señalar que en Venezuela no existen mecanismos que controlen las actividades forestales y agrícolas de manera eficiente y, por esta razón, los impactos negativos pueden ser de mayor intensidad por el uso

¹ La unidad utilizada en el cálculo de la HE está definida en Hag, es decir, Hectáreas globales, de esta manera, es posible realizar comparaciones con resultados a nivel mundial.

excesivo de recursos no renovables y la expansión de tierras para siembras y otros usos implicados en las actividades económicas dentro del territorio nacional.

Entre los factores que amenazan estos territorios se encuentra la tala indiscriminada, la cual, ha afectado el ecosistema y una de las zonas boscosas más importantes del país como lo es el estado Mérida, además de incendios que han acabado con gran cantidad de hectáreas pertenecientes a parques nacionales y zonas cercanas a poblaciones donde la agricultura es el ingreso económico más importante. Sin embargo, existen cultivos tradicionales que son referencia en la aplicación de buenas prácticas agrícolas y de ellos se desconoce el impacto ambiental que generan. En efecto, el rubro cacao en la región suroccidental del país ha demostrado ser un cultivo que contribuye al desarrollo sustentable y así pudieran estudiarse otros cultivos (Díaz y Rivera, 2016).

En consecuencia, es necesario abordar este sector con herramientas que cumplan con las exigencias e incorporen variables que permitan realizar análisis que contribuyan con el correcto uso de las tierras disponibles y los recursos necesarios para mantener una productividad que garantice la satisfacción de la demanda creciente, y que a futuro, conjunto al aumento continuo de la población, será un tema prioritario en el sector alimentario. Una de las herramientas que mejor se adapta a ello es la aplicación de la HE y que puede ser incorporado en un sistema web que facilite su implementación y entendimiento antes y durante la ejecución de proyectos de cualquier envergadura. La delimitación de la HE de las actividades agrícolas en Venezuela se encuentra relacionada con el uso de la moneda nacional, debido a que por el control de cambios del bolívar con la divisa internacional, no es posible establecer una variable económica ajustada a la realidad del mercado. No existe un concepto universal de la HE de actividades agrícolas, sin embargo, la capacidad de la herramienta puede ajustarse sin dificultad a la actividad agrícola y así demostrar su aplicabilidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo principal

Desarrollar un sistema web para medir la Huella Ecológica (HE) de los cultivos agrícolas en Venezuela, de manera que se pueda conocer la sostenibilidad e impacto ambiental de estas actividades económicas.

1.4.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Realizar el análisis de requisitos del sistema web.
- Utilizar el método de la HE para la recolección de variables para el cálculo de sostenibilidad agrícola en Venezuela;
- Implementar el método White-Whatch para el diseño del sistema web;
- Implementar el método de cálculo de la HE en el sistema web.
- Realizar una simulación o prueba con una unidad productiva de un rubro agrícola.

1.5 Metodología

1.5.1 Método de la Huella Ecológica

El método de cálculo de la HE consiste en determinar la superficie terrestre (expresada en hectáreas o hectáreas globales) necesaria para satisfacer los consumos asociados a la alimentación, movilidad, vivienda, infraestructuras, servicios, entre otros, los cuales, dependen del nivel de profundidad y amplitud que tenga el estudio. Toma en cuenta los recursos necesarios para satisfacer dichas actividades, considerando las superficies

biológicas de donde son obtenidos. Las superficies biológicas que se consideran para el cálculo de la HE son: cultivos, pastos, bosques para madera, mar, terreno urbanizado, terreno utilizado por infraestructuras y bosques necesarios para la absorción de las emisiones de CO₂. Estas emisiones son debidas al consumo de combustibles fósiles necesarios para la producción de la energía consumida tanto directa como indirectamente (energía contenida en los bienes consumidos) (Centro de Investigación para la Paz, s /f). Una vez definidas las actividades a las que se pretende aplicar el método y los recursos necesarios para satisfacerlas, se procede a realizar el cálculo, considerando además, el uso de factores necesarios para lograr una acertada aproximación, cuyos valores son establecidos de acuerdo a productividades mundiales de los recursos consumidos en la actividad objeto de estudio.

Este método es ampliado en el capítulo II para su mayor entendimiento y comprensión.

1.5.2 Método White-Watch

Para el desarrollo del software se utilizó el método White-Whatch en su versión 1.2 (Barrios y Montilva, 2010). Es un marco metodológico que describe el conjunto estructurado de actividades necesarias para desarrollar un producto de software pequeño, de baja complejidad y con documentación técnica precisa. Esta versión del método Watch trata de disminuir la carga documentada, enfocándose en el desarrollo evolutivo del sistema a nivel práctico, permitiendo al equipo de trabajo concentrarse en las actividades que corresponden con la implantación e implementación del producto.

Siguiendo el modelo de procesos del método White-Watch, es posible trazar un diseño y desarrollo detallados, sujeto a cambios durante la ejecución del proyecto que permite adaptar componentes que mejoren la calidad y eficiencia del producto final.

La información sobre la aplicación de este método es ampliada en el capítulo II del presente trabajo.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se realizan las definiciones que soportan el método de la HE y se plasman las bases teóricas sobre las cuales se desarrolló el trabajo del sistema web para dicha medición, explicando el proceso metodológico y los elementos importantes que la conforman. Además, se indican las definiciones necesarias en el desarrollo del sistema web basado en el método White-Watch, las cuales permiten su estructuración al momento de plantear el diseño del mismo.

2.1 El desarrollo sostenible

Para entender el concepto de desarrollo sostenible hace falta ubicar el término del desarrollo dentro de un marco que permita entender los fines de una investigación que se refiere en términos económicos. Explica Fuenmayor (2000, p.7) que, “La idea de desarrollo de un país lleva implícita, palpitante, pero escondida, la idea de bienestar social. Sin embargo, lo que se entiende por desarrollo son los medios utilizados para alcanzar cierto estado de bienestar social”. Por otro lado, también el término desarrollo es definido por Castillo (2011, p.2) con el enfoque económico como “...sólo aquellos cambios en la vida económica que no le son forzados de afuera sino que surgen de dentro, de su propia iniciativa”.

La palabra sostenible deriva del idioma latín y escrita como *sustenerere*, tiene como significado sostener o mantener en alto. Desde la perspectiva ambiental, se refiere al mantenimiento de los recursos naturales a un nivel suficiente para satisfacer las necesidades del ser humano. En el informe Brundtland (1987), realizado por la ONU, se define el concepto sostenible como “...un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

2.1.1 Antecedentes del desarrollo sostenible

Los primeros estudios realizados que demostraban la preocupación de satisfacer la necesidad alimentaria a causa del desproporcionado aumento de la población fueron desarrollados por el economista británico Robert Malthus (1798), quien expone que la población crece de forma exponencial, mientras que la producción de alimentos de forma aritmética, abriendo paso a un extenso e importante campo de estudio que para la época se adaptaba a los sistemas económicos usados y generando interés en el tema en otros investigadores importantes. Igualmente importante, es el ensayo realizado por el botánico inglés A. G. Tansley en 1935, considerado el padre de la ecología contemporánea, el cual trata del uso y abuso de los conceptos y términos de la vegetación y donde postula por primera vez el término de ecosistema, iniciando una nueva era de estudios que perduran hasta la actualidad. Indica Tansley (citado en Gudynas 2003, p.46) en este ensayo que sería “difícil, para no decir imposible, establecer una línea natural entre las actividades de las tribus humanas que presumiblemente encajen dentro y formen parte de las comunidades bióticas, y las actividades destructivas humanas del mundo moderno”, dejando claro que la ecología como ciencia no podía ignorar el papel desempeñado por el ser humano.

En investigaciones más recientes relacionadas con la preocupación ambiental y alimentaria se puede conseguir el trabajo de Meadows y colab. (1972) por encargo del Club de Roma², el cual, abriría un extenso debate entre el crecimiento económico y la conservación de los recursos por la palpable confrontación que surgió entre la economía y el ambiente en la década de 1970. Este trabajo indica que el crecimiento económico conduce a un colapso, ya sea por la alta concentración de la contaminación o por la extinción de los recursos, generando un aumento de la tasa de mortalidad a causa de la falta de disponibilidad de

² Organización interdisciplinaria privada fundada en 1968 por un grupo de economistas y políticos bajo legislación suiza.

alimentos. Gracias a la discusión generada por esta publicación llegaron a América Latina nuevos conceptos como eco-desarrollo y desarrollos alternativos.

Los primeros indicios del uso de la palabra sostenible aparecen por las prácticas pesqueras y de tala de bosques en la década de 1960, en un esfuerzo para mantener dentro de los parámetros los ritmos de recuperación de los recursos y garantizar una producción que satisfaga las necesidades de la población. En el contexto de recursos naturales renovables, se podría estimar una extracción o cosecha máxima permitida (Gudynas, 2003). Debido al aumento repentino de la contaminación, la preocupación ambiental, de los recursos explotados masivamente y del uso de tecnologías que de alguna forma dañan el ecosistema a partir de la década de 1960 y 1970, se torna gran importancia al ámbito ambiental y al futuro incierto que garantice la supervivencia de la raza humana. En 1980 se realiza una publicación por parte de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) con ayuda del Fondo Mundial para la Conservación de la Vida Silvestre (FMCVS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), donde se da el primer paso para la construcción del concepto de “desarrollo sustentable” y darle peso e importancia a los factores que influyen negativamente al ambiente.

Esta estrategia que fue de gran importancia en asuntos ambientales define al desarrollo sustentable como:

La modificación de la biosfera y la aplicación de los recursos humanos, financieros, vivos e inanimados en aras de la satisfacción de las necesidades humanas y para mejorar la calidad de vida del hombre. Para que un desarrollo pueda ser sostenido, debe tener en cuenta, además de los factores económicos, los de índole social y ecológica; deberá tener en cuenta la base de recursos vivos e inanimados, así como las ventajas e inconvenientes a corto y a largo plazo de otros tipos de acción (Gudynas, 2003, p.44).

Esta definición refleja la preocupación que surge sobre la explotación de los recursos ecológicos que se ven afectados por las necesidades humanas incluyendo varios factores, como el económico y social, creando una visión sistémica para la preservación del ambiente y, de esta manera, garantizar la seguridad alimentaria y de supervivencia de la raza humana a largo plazo. Así mismo, da paso a un nuevo camino, el cual, le da importancia al impacto que las actividades humanas generan sobre el planeta y plantea soluciones para mitigar dicho impacto. Pero a pesar del esfuerzo que se invirtió en esta estrategia, generó contradicciones debido a su forma de actuar con soluciones económicas tradicionales, dejando a un lado el concepto de desarrollo que muchas empresas y distintos países defendían debido a sus intereses y una postura de progreso en pro del crecimiento económico que no se proyectan en el informe publicado por el Club de Roma.

El tema no pasó desapercibido, al contrario, se convertiría más adelante en prioridad para la ONU, abriendo un debate mundial en el que se empezaron a discutir asuntos en los que, no sólo países desarrollados formarían parte sino también países en vías de desarrollo, los cuales, toman un papel importante en la explotación de recursos y su crecimiento económico. Debido a esto, y justo después de presentarse la primera Estrategia Mundial para la Conservación, se inició la tarea de esclarecer e incluir puntos clave que intervienen en el desarrollo sostenible, con la oportuna creación en 1983 de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD) o World Commission on Environment and Development por sus siglas en inglés (WCED) por parte de la misma ONU. La comisión contó con la participación de 23 integrantes presidida por la noruega Gro Harlem Brundtland. Los miembros latinoamericanos fueron Pablo González Casanova (sociólogo mexicano que renunció antes de finalizar el trabajo), Margarita Merino de Botero (colombiana), Pablo Nogueira Neto (ecólogo brasileño) y Shidath Rampa (político guyanés) (Gudynas, 2003).

Esta comisión se dio a la tarea de prestar atención a las tensiones que se presentaban entre los conservacionistas del ambiente y la reducción economicista, dando como resultado la gestación de un trabajo que inició el mismo año de su creación, llamado “Informe

Brundtland”³ (1987). Este informe tuvo la finalidad de evaluar la relación entre la conservación, el ambiente y el desarrollo, en el que se reconoce los límites de la biósfera para absorber impactos ambientales e incluye varios componentes de discusión que estaban presentes en el informe pedido por el Club de Roma, además de darle importancia a las generaciones futuras para que pudieran gozar de los recursos naturales presentes en el planeta para garantizar su bienestar.

Una atribución importante de esta comisión, es el primer uso del término “desarrollo sostenible”⁴ del que se tiene registro de manera concreta y clara, el cual, surge de numerosos esfuerzos en estudios enfocados en el análisis de las relaciones entre la naturaleza y la población para un mejor entendimiento entre ambos. En otras palabras, trata sobre la relación entre las necesidades y el grado intervención permisible sobre el medio ambiente y social (Boadas, s/f). Este concepto reúne asuntos ambientales, sociales y económicos que intervienen en las actividades humanas. La expresión “desarrollo sostenible”, también puede ser admitida como desarrollo sustentable, desarrollo viable o desarrollo durable o duradero, pero cabe destacar que en algunos casos puede haber discrepancias con respecto al uso de estos conceptos, ya que existen autores que difieren en estos significados tratándolos de forma diferente. En este informe, se presenta la definición de desarrollo sostenible como se muestra a continuación:

Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. El concepto de desarrollo sostenible implica límites, no límites absolutos, sino limitaciones que imponen los recursos del medio

³ Este informe también puede ser conseguido bajo el nombre “Our common future” en idioma anglosajón.

⁴ Proviene de la traducción de la expresión en inglés “sustainable economic development” utilizada en el informe.

ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas, pero tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de crecimiento económico (Gudynas, 2003, p.48).

De esta manera, se relacionan y coordinan las actividades humanas con el uso de tecnologías con el crecimiento económico que son parte de las prioridades sociales de cualquier país y se establecen las limitaciones del medio ambiente para proporcionar los recursos necesarios para alcanzar estos objetivos.

A raíz de este informe y debido a la alta preocupación ambiental a escala global debido a los cambios climáticos y la reducción de la capa de ozono por causa de la intervención humana, así como la creciente reducción de bosques y ecosistemas, se dio paso a una segunda reunión convocada por la Organización de Naciones Unidas dedicada a los temas de ambiente y desarrollo. La Eco '92 fue una reunión sin precedentes, la cual, precisó de años de preparación donde se convocaron gran cantidad de gobiernos e instituciones no gubernamentales para atacar los problemas de desarrollo y de ambiente. El encuentro se realizó en Rio de Janeiro, Brasil en el año 1992 y sirvió para que los distintos integrantes de la misma expusieran tanto sus preocupaciones como los trabajos e investigaciones relacionados al encuentro, para buscar soluciones de interés común con el objetivo de reducir el impacto ecológico sobre el medio ambiente mientras se promueve el desarrollo continuo de las sociedades humanas.

En esta cumbre de Río de Janeiro los gobiernos lograron acordar cinco documentos: 1) La Declaración de Rio sobre Medio Ambiente y Desarrollo; 2) la Agenda 21⁵ que consiste en

⁵ La Agenda 21 es el plan de acción donde los gobiernos locales pongan en marcha sus propios procesos y políticas de sostenibilidad local dada su proximidad a los ciudadanos.

un vasto programa de acciones sobre variados aspectos en las relaciones entre desarrollo y ambiente; 3) La declaración sobre los bosques, con principios generales para su uso y conservación; 4) La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático formulada con la finalidad de detener los impactos negativos globales en la atmosfera; y, 5) el Convenio sobre la diversidad biológica, sobre la protección y uso de los ecosistemas, su fauna y flora.

Estas iniciativas dieron pie a una segunda Estrategia Mundial para la Conservación del Medio Ambiente en conjunto con el PNUMA y el WWF que tuvo como nombre “Cuidar la Tierra” en 1991. En esta nueva estrategia se define el desarrollo sustentable como “La mejora en la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan” (Gudynas, 2003, p.49).

Este informe refleja que una economía sostenible implica un desarrollo de este tipo, donde se logra mantener la base de los recursos naturales con una eficiencia técnica gracias a la aplicación sabia de los conocimientos, pero que requiere de profundos cambios culturales para alcanzar las metas planteadas.

En la década de 1990 se vio el aumento de la opinión pública latinoamericana respecto al tema ecológico, empujando a los gobiernos a responder institucionalmente con la creación de nuevos ministerios referidos a asuntos ambientales, reflejando la preocupación por asegurar un futuro sustentable para las generaciones venideras y disminuyendo la velocidad del deterioro ecológico a través de proyectos conservacionistas y áreas protegidas, aunque aún sigue siendo un problema serio para los países que conforman la región.

Los esfuerzos y los acuerdos a los que se habían llegado hasta el momento no fueron suficientes para disminuir el impacto que las actividades humanas estaban generando sobre el ambiente, no obstante, la lucha por preservarlo era el horizonte para la ONU y se convocó en 2002 a una tercera reunión en Johannesburgo que tuvo como finalidad profundizar en las metas propuestas para la preservación y el desarrollo sostenible, así como el

compromiso de los países integrantes de establecer medidas en el ámbito ecológico con la utilización de tecnologías que aporten resultados positivos en la naturaleza.

Sin embargo, el encuentro no logró alcanzar estas metas y corrió el riesgo de fracasar, ya que los países involucrados no firmaron nuevos tratados internacionales y hasta último momento se firmó la declaración final de la cumbre de Johannesburgo⁶. La declaración política de esta cumbre es un conjunto de ideas genéricas sin acordar procedimientos concretos (Gudynas, 2003).

Cabe destacar que además del tema de desarrollo sustentable de estos encuentros, también se fijó la mira en un nuevo y conflictivo debate, el calentamiento global, y que generó polémica y división entre las naciones, a pesar de los esfuerzos invertidos, como lo fue el Protocolo de Kyoto, producto de la Convención del Cambio Climático celebrado en 1997.

2.1.2 El desarrollo sostenible

Gracias al informe Brundtland (1987), la preocupación por la sostenibilidad fue creciendo, de tal modo que el desarrollo sostenible se posicionó en uno de los objetivos a conseguir para la mayoría de las naciones. El desarrollo sostenible es entendido como aquel que permite “satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas” (Naredo, 1996, p.7).

Aunque implícitamente, este concepto conlleva a una ambigüedad inherente que lo hace debatible y genera la continua lucha por alcanzar sus objetivos de manera tal que sobresalgan por encima de los impactos negativos de una sociedad altamente industrializada que busca un crecimiento económico que la impulse. Por esta razón, el término de “desarrollo sostenible” ha sido usado para evadir la problemática ambiental y

⁶ Conocida también como la cumbre “Rio +10”.

las connotaciones éticas que los países industrializados poseen para alcanzar dicho crecimiento (Naredo, 1996).

La difícil tarea de equilibrar la balanza en cuanto a un crecimiento económico conjunto a un desarrollo sostenible, ha sido el punto crítico que genera el conflicto en el debate de estos temas. Esto apunta a que puede variar según los objetivos de cada cultura, sociedad o tipo de economía que se maneje, por lo tanto, "...debe considerarse que la definición de sostenibilidad puede variar según el grupo humano, la cultura u otras razones, porque las personas tienen diferentes aspiraciones en diferentes periodos de tiempo, escalas y contextos" y adicionalmente, "debido a que el término abarca diversos objetivos incluyendo lo ambiental, lo social y la sostenibilidad humana" (Olarte, 2012, p.32), ya que la ruta de desarrollo sostenible que se plantee depende de ellos y dificulta la aplicación práctica de este concepto a escala global debido a las limitaciones antes mencionadas. Para Naredo (1996, p.8):

La imposibilidad física de un sistema que arregle internamente el deterioro ocasionado por su propio funcionamiento, invalida también la posibilidad de extender a escala planetaria la idea de que la calidad del medio ambiente esté llamada a mejorar a partir de ciertos niveles de producción y de renta que permitan invertir más en mejoras ambientales.

Estas soluciones se pueden aplicar ciertamente a escala local, ya que las importaciones de recursos (materia prima y energía) de los países industrializados desde otras regiones, imposibilitan una respuesta concreta a la problemática que se presenta, ya que el intercambio de residuos contaminantes también nubla de cierta manera la búsqueda por estas mejoras ambientales. Resulta interesante observar que no se trata de un asunto puntual, ni posee una única solución para la reducción, equilibrio o crecimiento del que se hace referencia.

Para entender y construir un concepto más concreto de lo que significa desarrollo sostenible es necesario un poco de abstracción, para el cual se tiene que ver el funcionamiento de poblaciones, organismos y ecosistemas como sistemas abiertos que requieren de la degradación de recursos para su supervivencia, donde además de esto, están en constante cambio. De esta manera, el desarrollo sostenible “... no es un estado fijo de armonía, sino un proceso de cambio. Éste está ya en marcha en muchos campos, donde la transición hacia actividades sostenibles está mejorando el desarrollo económico, además de proteger el medio ambiente” (Castillo, 2011, p.6).

La ambigüedad del término aun no queda desplazada, la mayor parte de la indefinición surge de la necesidad de relacionar armónicamente el crecimiento económico con la idea de sostenibilidad, pero es prudente tomar en cuenta que dichas ideas pertenecen a niveles abstractos distintos y requieren de un razonamiento igualmente diferente. El concepto no puede simplemente reducirse mediante retoques técnicos, por el contrario, requiere de un análisis más completo que implica introducir factores que tienen influencia directa sobre los objetivos fijados de desarrollo a los que se ven sujetos cada cultura o sociedad.

Se convierte necesario entonces, para lograr una simplificación del concepto y llegar a un consenso que logre detallar y cumplir con los objetivos de esta investigación, desde el cual, la tarea de clarificar tal situación, se hace más sencilla desde un sistema de razonamiento económico. Para Naredo (1996) estas cuestiones ya han sido respondidas gracias a los estudios realizados por el famoso economista estadounidense Robert M. Solow, premio Nobel en 1987 gracias precisamente a sus trabajos sobre crecimiento económico. Para este autor, lo que debe ser conservado es el valor del stock de capital (incluyendo el capital natural) con el que cuenta la sociedad, que es lo que, según él, otorgaría a las generaciones futuras la posibilidad de seguir produciendo bienestar económico en igual situación que la actual (Naredo, 1996).

Para Solow, el problema se encuentra en lograr una valoración que se estime adecuadamente completa y acertada del stock de capital y del deterioro ocasionado en el mismo, por otra, en asegurar que el valor de la inversión que engrosa anualmente ese stock

cubra, al menos, la valoración anual de su deterioro. Solow (citado en Naredo, 1996, p.13) afirma que “el compromiso de la sostenibilidad se concreta así en el compromiso de mantener un determinado montante de inversión productiva” pues, según este autor, “el pecado capital no es la extracción minera, sino el consumo de las rentas obtenidas de la minería”.

El abordaje del manejo del tema de sostenibilidad en términos de inversión, hizo que se esparciera entre los economistas que la idea del problema ambiental es más fácil tratarlo cuando la producción y la renta se sitúen por encima de ciertos niveles que permitan aumentar la inversión en mejoras ambientales. “Como explica también la recomendación a los países pobres de anteponer el crecimiento económico a las preocupaciones ambientales, para lograr cuanto antes los niveles de renta que, se supone, les permitirán resolver mejor su problemática ambiental” (Naredo, 1996, p.13). De esta forma se torna en un caso con intereses económicos más generales y así los países que actualmente están preocupados por su economía también tienen inclinaciones hacia este tipo de inversión.

Según lo anteriormente expuesto, se puede observar que el abordaje desde un sistema económico al tema de sustentabilidad tiene la finalidad de tomarlo de manera monetaria, lo que lo hace entendible para cualquier economía del mundo y el interés sobre el mismo aumente dada la preocupación por su impacto en otros sectores económicos los cuales se podrían ver afectados por la no inversión ambiental.

2.1.3 Indicadores de desarrollo sostenible

El esfuerzo por garantizar la disponibilidad de recursos a generaciones futuras y el aumento de la preocupación por la preservación del medio ambiente, ha hecho que se haya avanzado en el concepto de desarrollo sostenible. Los países del mundo se han adaptado, a través de políticas, instituciones gubernamentales, privadas y hasta socialmente, a los cambios generados por sus propias actividades económicas y por las consecuencias de una industrialización que genera cada vez más un impacto ecológico a nivel mundial. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, en la práctica el desarrollo sostenible no

tiene un avance tan claro como su estado conceptual. Según Sarandón (s/f, p.393), esto se debe a razones muy variadas entre las cuales indica que su ambigüedad no ha podido ser aclarada y la poca funcionalidad del concepto que no sugiere cómo ser aplicado. Adicionalmente, Sarandón agrega que existe una “dificultad de percibir claramente el problema desde el enfoque disciplinario o reduccionista predominante en el ámbito científico-académico” además de “la ausencia de parámetros comunes de evaluación, junto con el uso de herramientas y metodologías inadecuadas” (Sarandón, s/f, p.393).

Explica Sarandón (2000), que se debe aclarar que los retos de una buena práctica no son precisamente fáciles en ningún ámbito. La sustentabilidad es uno de esos términos que deben su amplia aceptación, en parte, a su ambigüedad. En su mayoría desean alcanzar sus objetivos pero en realidad no se sabe bien de que se trata. Y, por lo tanto, no se pueden medir progresos, ni retrocesos (citado en Sarandón s/f, p.393).

Para lograr un mejor entendimiento y lograr que el concepto de sostenibilidad se establezca sólidamente, es necesario que la complejidad de la sustentabilidad sea simplificada en valores claros, objetivos y generales, conocidos como indicadores. Estos indicadores permitirán comprender los factores críticos que intervienen en la sustentabilidad un agro ecosistema y detectar tendencias para tomar decisiones a partir de las mismas. Explican Izac y Swift que “los requerimientos de la investigación científica requieren ir más allá de los conceptos holísticos de la sustentabilidad, hacia otros más específicos y susceptibles de medición” (citados en Sarandón, s/f, p.395).

2.2 Indicador de sustentabilidad: ¿qué es?

Un indicador es una variable cuantificada que permite entender tendencias que de otra forma no serían sencillas de detectar e interpretar. Éstos nos brindan información importante para el funcionamiento de cualquier sistema. Para Achkar (2005, p.4) los indicadores “son variables que representan a otra variable o a un conjunto de variables en un modelo simplificado del sistema en estudio”.

Ahora bien, respecto a lo anteriormente explicado, un indicador de sustentabilidad tiene como objetivo “medir la distancia y el sentido de la variación de un sistema ambiental entre: el estado inicial del sistema”, esto tomado como un dato de la realidad y “el estado de transición del sistema hacia un escenario sustentable de desempeño de la sociedad” (Achkar, 2005, p.4). Por esta razón, son utilizados como herramientas claves en la aplicación del desarrollo sostenible, aunque poseen dificultades técnicas y científicas por su complejidad, ya que no tienen un modelo fijo de uso, son de vital importancia para lograr mejoras ambientales en el mundo. No todos los indicadores pueden ser usados en todos los casos, de cierta forma tienen que adaptarse a la realidad que los rodea según el contexto y el objetivo que se quiere alcanzar.

2.2.1 Características de los indicadores de sustentabilidad

Debido a lo extenso del campo ambiental y todo lo que abarca, es necesario usar indicadores concretos que no se presten a malinterpretaciones y que los datos que representen no sean inconexos. Es por ello que estos indicadores deben tener ciertas características que permitan tener claridad en los mismos y que realicen la tarea que se les ha propuesto de manera concreta y sin ambigüedades, con el fin de obtener resultados satisfactorios que logren el objetivo deseado en el área ecológica.

Según Sarandón (s/f, pp.401-406), los indicadores de sustentabilidad deben reunir las siguientes características para un buen desarrollo de los mismos:

- Tener vínculo estrecho con la sustentabilidad: para que los indicadores no sean una colección de datos inconexos;
- Ser adecuados al objeto perseguido: se construyen de acuerdo con el objetivo, la utilidad y el propósito (científico, político, diagnóstico, predictivo);
- Ser sensibles a los cambios: es de suma importancia que los indicadores puedan variar en el tiempo y posean sensibilidad a un amplio rango de situaciones. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los indicadores deben presentar poca variabilidad durante el periodo de muestreo;

- Poseer habilidad predictiva: la observación del valor del indicador nos debe mostrar de manera clara una tendencia a futuro;
- Ser de fácil interpretación: uno de los atributos más importantes de los indicadores es la presentación en unidades equivalentes y sencillas de interpretar.
- Ser robustos e integradores: los indicadores deben sintetizar información pertinente; es decir, que con pocos indicadores sea suficiente para evaluar la sustentabilidad.

2.3 Indicadores de Desarrollo Sostenible

Pasar de un estado conceptual de sostenibilidad a su puesta en marcha no ha sido una tarea fácil. La creación de indicadores no posee un método establecido, por lo que es un tanto subjetiva y pueden ser interpretados de manera errónea si no se tiene un criterio concreto para su implementación.

Los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS) tienen sus inicios a finales de la década de 1980 en Canadá y otros países de Europa, pero el paso más importante lo tuvo en la Cumbre de la Tierra, ya que para poder controlar el avance de la Agenda 21, la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, junio 1992) creó la comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), con el fin de monitorear el avance en la preservación ecológica. Es así como se tuvo la necesidad de crear herramientas que ayuden a garantizar el objetivo planteado en dicha convención y se inició el diseño e implementación de indicadores referentes al tema de sostenibilidad. Algunos países han hecho trabajos al respecto de alta notoriedad como lo son Canadá y Nueva Zelanda, ya que han presentado propuestas de calidad y que reflejan avances en el campo, en algunos casos presentando mejores resultados que en otros países debido al apoyo político y financiero que se le presta (Quiroga, 2001). Un grupo de países liderado por la CDS ha estado creando un listado de indicadores para que los gobiernos cuenten con un conjunto probado y reducido de IDS y así facilitar su aplicación y consenso.

Con respecto a América Latina se ha observado el avance en la incorporación de mejoras ambientales a nivel de instituciones gubernamentales y de políticas donde los países que lideran el desarrollo de los indicadores en la región son México, Chile, Colombia, Costa Rica y Brasil.

A pesar de no ser un trabajo sencillo, los esfuerzos para mejorar la calidad de vida en los distintos países que reportan tal preocupación se hace notar, por lo que aún se realizan estudios para reducir la brecha entre el estado conceptual y aplicativo de sostenibilidad mediante el uso de este tipo de herramientas. Para Quiroga (2001, p.17):

... la mayor oportunidad de desarrollo en este tema continua siendo contribuir a la solución en los temas de integración de las dimensiones o componentes en un sistema, diseñado indicadores vinculantes o sinérgicos. Hasta ahora, las iniciativas de diseño que han abordado lo anterior, por lo general lo están trabajando desde la perspectiva de agregación, o sea incorporando en índices variables relevantes.

2.3.1 Tipología de los indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible

Para Quiroga existe una tipología de los indicadores de sostenibilidad ambiental (Quiroga, 2001), los cuales se presentan a continuación:

- Indicadores ambientales o de primera generación (1980-presente)

Los indicadores de primera generación son comúnmente llamados indicadores ambientales o de sostenibilidad ambiental, creados a principios de la década de 1980 para cuantificar valores referidos a los problemas ambientales a los que se dieron importancia a partir de esas fechas. Son indicadores parciales que dan cuenta a fenómenos productivos o a sistemas de dimensiones reducidas (agricultura, forestal, contaminación, recursos naturales, etc.), es decir, no explican otros factores que intervienen en ellos dinámicamente, como los problemas socioeconómicos (Quiroga, 2001, p.18).

Cabe destacar que son de gran importancia por haber dado paso a la siguiente generación de indicadores y que a pesar de ser parciales han contribuido a cuantificar variables necesarias para el avance del desarrollo sostenible, pero también han perdido potencia, ya que han sido desplazadas por indicadores que cumplen su función de manera más efectiva y con mayor alcance.

- Indicadores de desarrollo sostenible o de segunda generación (1990-presente)

La segunda generación está enfocada a un sistema multidimensional del desarrollo sostenible, donde se utilizan indicadores de tipo ambiental, social, económico e institucional. Éstos abarcan un mayor campo y toman en cuenta factores que los indicadores de primera generación no incorporan. Este desarrollo ha sido liderado desde 1996 por la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU y entre los países que han tomado esta iniciativa se encuentran México, Chile, Estados Unidos, Reino Unido, entre otros (Quiroga, 2001)

En esta generación surgieron indicadores que han servido en distintas áreas ambientales debido a la preocupación ecológica y gracias a la evolución que se venía gestando desde la década anterior, como por ejemplo fueron la Mochila Ecológica (Ecological Ruscksack) término concebido por F. Schmidt- Bleek y Von Weizsäcker, en 1993 en el Instituto Wuppertal (Alemania) y la Huella Ecológica, de gran adaptación en las áreas donde puede ser aplicada, que será explicada más adelante (Herva, 2008, p.182).

2.4 Indicadores de desarrollo sostenible de tercera generación

El diseño e implementación de indicadores de tercera generación representa un gran reto que significa alcanzar mejores resultados incorporando los factores ambientales, sociales y económicos que son importantes a la hora de tomar decisiones al respecto. Acerca de esta generación de indicadores se puede decir lo siguiente:

De lo que se trata en estos indicadores es poder dar cuenta del progreso hacia el DS en forma efectiva, utilizando un número limitado de indicadores verdaderamente vinculantes, que tengan incorporados, potenciándose sinérgicamente, dimensiones y sectores desde su origen. (Quiroga, 2001, p.19)

Por esta razón se convierte en un desafío, ya que desde un principio existen dificultades conceptuales y de puesta en práctica que aún no se han superado, por lo que se convierte más bien en una necesidad llegar a tener indicadores que permitan observar tendencias que ayuden a tomar decisiones precisas y concretas, reduciendo los riesgos y promoviendo iniciativas gubernamentales y privadas para aumentar la inversión en el área ecológica. (Quiroga, 2001).

2.5 La Huella Ecológica

Los indicadores de desarrollo sostenible se han hecho populares a través de los años y han obtenido gran importancia en las distintas áreas donde se desempeñan. En lo ambiental se han creado métodos que permiten integrar factores relevantes para las mejoras ambientales que tanto se quiere lograr y una de las que más ha tenido popularidad debido a su alcance y efectividad es la HE. Este método se consolidó gracias a los autores Wackernagel y Rees (1996). Ellos definen la HE de la siguiente manera:

La Huella Ecológica es un indicador biofísico de sostenibilidad que integra el conjunto de impactos que ejerce una cierta comunidad humana – país, región o ciudad - sobre su entorno, considerando tanto los recursos necesarios como los residuos generados para el mantenimiento del modelo de consumo de la comunidad (Herva, 2008, p.183).

Además agregan:

La Huella Ecológica es una herramienta contable que nos permite estimar el consumo de recursos y la capacidad de asimilación de residuos requeridos por una población humana o una economía en función de la superficie de tierra productiva requerida para su mantenimiento (Rees y Wackernage en Fernández, 1999, p.124).

Esto quiere decir que la HE es una medida del intercambio realizado entre las actividades humanas y los ecosistemas, el cual, no se enfoca en el tamaño de la población que el planeta puede soportar, sino más bien en la extensión de tierras que se requieren para mantener a tal actividad. La información suministrada facilitará el cálculo de la capacidad que tiene un sistema para seguir funcionando de acuerdo con la cantidad de tierras necesarias, reflejado en hectáreas, para sostener dicho funcionamiento. En otras palabras, y para tener una visión clara de este método, la HE calcula el área biológica requerida para producir los recursos demandados en cualquier sistema (humano, agrario, etc.), así como también el área necesaria para absorber los desechos producidos por el sistema en cuestión sin importar el lugar donde se encuentre.

Este método parte del supuesto de que la distribución del área biológicamente productiva es óptima, y no toma en cuenta una reorganización de la misma para aumentar su eficiencia, ya que a través de la HE no indica directamente como debe ser la gestión ambiental a aplicar según sus resultados, esta parte queda a criterio de los que utilizan esta útil herramienta.

La HE ha tenido una amplia aceptación en diferentes instituciones gubernamentales y otros actores, siendo bastante útil y ha abierto el debate promoviendo el camino hacia el desarrollo sustentable. Aunque también hay que acotar que está sujeto a críticas debido a su concepto y método de cálculo, Aun así, ha sido uno de los indicadores más populares hasta la fecha.

2.5.1 Superficies productivas.

El método de cálculo de la HE se basa en la estimación de la superficie necesaria para satisfacer los consumos asociados a la alimentación, a los productos forestales, al gasto energético y a la ocupación directa del terreno, para los cuales se requieren superficies productivas que se dividen como se muestra en la Tabla 1.

Esta superficie se asocia respecto al bien o recurso consumido si realizamos el cálculo para un habitante, o bien, si el cálculo se refiere al conjunto de la comunidad estudiada⁷ (Martínez, 2007).

Superficie	Descripción
Cultivos	Superficies productivas para la actividad agrícola
Pastos	Superficies para la cría de ganado
Bosques	Superficies utilizadas para la explotación forestal

⁷ La versatilidad del cálculo de la HE hace que la comunidad de estudio pueda ser cualquier actividad humana a la que se quiera aplicar este método, como una organización, universidad, finca agropecuaria, o cualquier otro objeto de estudio que implique un impacto sobre el medio ambiente.

Mar productivo	Superficie de explotación marina que pueda ser utilizado para el consumo humano
Área construida	Superficies ocupadas por infraestructuras
Área de absorción de CO₂	Superficies de bosques necesaria para la absorción de gases de efecto invernadero causadas por el consumo de combustibles fósiles para la producción de energías

Tabla 1: Superficies productivas de la Huella Ecológica

2.5.2 Productividad natural

Para ser más precisos, la HE toma en cuenta la cantidad de un bien consumido y lo divide por la productividad media del sistema productivo asociado para realizar el cálculo de la tierra apropiada necesaria para dicho bien, entonces, la HE es igual al consumo del bien entre la productividad media del bien. Por ejemplo, si una familia consume durante un año 120 Kg de trigo, considerando una productividad de 2500 kg/ha, tendríamos que la tierra apropiada por nuestra familia, para el consumo de ese cereal, sería de 0.0480 ha, o lo que es lo mismo 480m², y así para todo tipo de bienes, llegando a calcular la HE para el consumo total en distintos países (Fernández, 1999).

Así, se ha podido concluir que la HE de una persona promedio en el mundo es de 2.9 hectáreas, mientras que la de un persona en Bangladesh de 0.6 hectáreas y la de un alemán 6.0 hectáreas, las cuales son 6.000 m² de tierras productivas que toma de otros países para su exclusivo consumo (Martínez, 2007), ya que de forma indirecta los sistemas se apropian de otras tierras para cubrir el consumo de bienes y la absorción de las emisiones de CO₂. Lo preocupante es que la capacidad del planeta tiene 2.7 hectáreas biológicamente

productivas para cada habitante, de esta manera, se está sobrepasando la capacidad regenerativa en un 33% y el patrón de consumo es insostenible según estos datos.(Global Footprint Network, 2018).

Entonces, la productividad natural se refiere a la productividad de los alimentos y productos orgánicos que nos ofrece la tierra, pero en cualquier caso, el mismo proceso de cálculo es aplicable para todo tipo de consumo de recursos: electricidad, combustibles, materiales, agua, papel, etc. (Doménech, 2006).

2.5.3 Productividad energética.

Como se ha expuesto anteriormente, el cálculo básico de la HE es la división del consumo entre productividad, pero existen distintas consideraciones a tomar en cuenta para la medición cuando se trata de otro tipo de recurso tales como maquinaria, productos químicos, material eléctrico, material de oficina, vehículos, etc. En este caso, se deben transformar todos los consumos de los elementos que se utilizan en la actividad estudiada a energía y dividirlos entre la productividad energética de la tierra, es decir, la cantidad de energía que puede producir o asimilar una hectárea de terreno.

La unidad empleada es el julio (J), medida física del trabajo que equivale al trabajo que hay que realizar para levantar un kilogramo, a diez centímetros del suelo. Mide también la energía calorífica; una kilocaloría equivale a 4,1868 kilojoules. Un kWh equivale a 3,6 megajulios. Un gigajulio son 1000 megajulios; un megajulio son 1000 kilojulios; y un kilojulio son 1000 julios.

Para calcular los calores de energía utilizada por hectárea varía según la fuente de combustible, pudiendo ser estas de carbón, petróleo, madera, gas, etc. Los autores del método inicialmente estimaron un factor de absorción de 1,8 toneladas de carbono por hectárea y año, y un tiempo de maduración forestal de 50 a 80 años. Luego, utilizando mejores estimaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para la productividad forestal, la absorción de carbono y los factores de emisión de carbono, y

asumiendo un tiempo de maduración forestal (ciclo de cosecha) de 40 años, se fijó la media de absorción de carbono en 1,42 tC/ha/año ó 5,21 tCO₂/ha/año (Doménech, 2006).

Los combustibles líquidos tienen un factor de emisión de carbono de 20 tC/Tj, por lo que el ratio energía/hectáreas es de 71 Gj/ha/año ($1,42/0,020 = 71$). Es decir, una hectárea de bosque puede secuestrar anualmente las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de 71 gigajoules de combustible líquido.

Las productividades de las energías renovables son mucho más elevadas. La de la hidroelectricidad, por ejemplo, se calcula estimando la superficie ocupada por los embalses y las líneas de alto voltaje necesarias para la producción anual de electricidad, estimándose en una media de 1000 Gj/ha/año. Para las presas ubicadas en altas altitudes sería de unas 15.000 Gj/ha/año, mientras que para las de bajas altitudes sería de 160 a 480 Gj/ha/año (Doménech, 2006).

2.5.4 Factor de equivalencia

El factor de equivalencia depende de la superficie productiva a la que se hace referencia para homogeneizar los resultados en hectáreas globales (hag). Obviamente no podemos comparar un terreno de bosque con una superficie de mar, por ejemplo, ya que la productividad del bosque es mucho mayor que la del mar, y la productividad de las tierras cultivables es mucho mayor que la de los bosques. En la Tabla 2 se muestran los factores de equivalencia de las superficies productivas adoptadas por este método, de acuerdo a sus categorías correspondientes.

Superficie	Factor de equivalencia
Cultivos	2.1
Pastos	1.4

Bosques	0.5
Mar productivo	0.4
Área construida	2.2
Área de absorción de CO₂	1.4

Tabla 2: Factores de equivalencia por superficie productiva.

Entonces, el factor de equivalencia representa la productividad potencial media global de un área bioproductiva, con relación a la productividad potencial media global de todas las áreas bioproductivas. Un factor 2,1 significa que esa categoría de tierra es 2,1 veces más productiva que la tierra bioproductiva media mundial.

2.5.5 Contra-huella, factor de rendimiento y capital natural

Mientras que la HE equivale a las hectáreas de terreno consumido, la contra-huella equivale a las hectáreas de terreno que tenemos. La huella que no podemos eliminar reduciendo el terreno utilizado (por ahorro energético, por compra de materiales eficientes, por reciclaje, etc.), hay que eliminarla aumentando los terrenos disponibles. Para incrementar la contra-huella, es decir, para disponer de hectáreas de ecosistema productivo, hay que invertir en capital natural, por ejemplo, en zonas de cultivos, zonas de pastos, bosques o reservas marinas (Doménech, 2006).

Al igual que la huella se obtiene multiplicando las hectáreas de terreno consumido por el factor de equivalencia, para obtener la contra-huella hay que multiplicar el terreno disponible, tanto por el factor de equivalencia para la contra-huella, como por el factor de rendimiento, que es el factor de productividad local de nuestros terrenos con respecto a la productividad global. Así, por ejemplo, si la productividad de nuestros bosques es similar

a la productividad global de los bosques, el factor de rendimiento será 1, si nuestra productividad local es el doble de la global, el factor de rendimiento será 2, etc. (Doménech, 2006).

Por razones de conveniencia en los cálculos, se realiza con valores globales y no locales del terreno utilizado, por lo que se establece un factor de equivalencia igual a la capacidad de carga media mundial, siendo esta de 2,7 ha/cap. Por otra parte, el factor de rendimiento es establecido de acuerdo al límite de carga del planeta, el cual ha sido superado aproximadamente un 30%, entonces, el factor de rendimiento se establece como el 1,3 % del valor de la capacidad biológica del planeta (Global Footprint Network, 2018).

2.5.6 Proceso del método del cálculo de la HE

Para realizar la medición de la HE, es necesario tomar en cuenta una serie de pasos y elementos necesarios descritos a continuación, donde además, se debe aplicar la fórmula establecida por los autores del método.

1. Determinar el contexto y datos básicos de la actividad.

En primer lugar, es necesario elegir qué población va a estar bajo estudio, es decir, a la que se le va a aplicar este método con el fin de limitar el alcance⁸, a partir del cual se puede, por ejemplo, buscar cuál es el consumo anual de esa población para cubrir sus necesidades alimentarias, energéticas, de materias primas y de suelo. Se trata entonces de conocer el área de cultivo necesario para generar tal cantidad de productos provenientes de las distintas áreas que explotan al medio ambiente (Martínez, 2007). En caso de que no se

⁸ Es necesario recordar que los IDS no son tan eficientes si se aplican a una escala global, aunque es posible llegar a resultados y conclusiones que se aproximen a la realidad.

tengan datos directos de consumo de algún artículo, se puede llegar a una estimación aparente a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Consumo aparente} = \text{Producción} - \text{Exportación} + \text{Importación}$$

Para evitar esto, se utilizan valores de consumo globales, con el fin de prevenir errores por falta de datos necesarios en el territorio donde se aplica el método. También es necesario tomar en cuenta las variables que intervienen en la actividad u objeto de estudio, ya que éstas dependen directamente de la misma. Por ejemplo, las variables de consumo de una oficina u hogar son diferentes a las de una actividad agrícola, por lo tanto, es necesario adaptar este método al campo al cual es aplicado.

2. Transformar estos consumos en superficie biológica productiva apropiada a través de índices de productividad.

Para estimar el área apropiada (aa) para producir cada artículo de consumo (i), se divide la media anual de consumo de cada artículo (C_i), entre la productividad media anual por hectárea (P_i). Luego de obtener cada valor referente a los artículos de consumo de la actividad, el siguiente paso es multiplicar la huella resultante de la división consumo/productividad por su respectivo factor de equivalencia (F_i), obteniendo así la huella final equivalente. Al obtener este resultado, se realiza la sumatoria de los valores de todos los artículos desde n hasta i, y de esta manera conocer la huella parcial de la actividad, antes de aplicar el siguiente y último paso.

La fórmula aplicada para conocer la huella equivalente es la siguiente:

$$he = \sum_{i=1}^n aa_i * F_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{P_i} \right) * F_i$$

Donde:

he = huella ecológica per cápita.

aa_i =el área apropiada para producir cada artículo de consumo (i).

C_i = la media anual de consumo de cada artículo expresado en Tm/cápita o kg/cápita.

P_i = la productividad media anual por hectárea expresada en Tm/hectáreas o Kg/hectáreas.

F_i = factor de equivalencia de la productividad media mundial.

Así, por ejemplo, el artículo de consumo para el caso agrario son los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de la actividad, por lo que se toma en cuenta la productividad media anual global de los recursos utilizados en ese sector. De ser necesario, y dependiendo de cómo son obtenidos los datos correspondientes para continuar el cálculo, se deben realizar las transformaciones correspondientes para lograr una coherencia en las unidades utilizadas en el método.

En los casos referidos al consumo de recursos cuyos factores de equivalencia provienen de superficies asociadas al área forestal, es recomendable multiplicar por el factor de rendimiento de las tierras, y de esta manera, obtener un resultado satisfactorio y más cercano a la realidad.

3. Determinar la contra-huella correspondiente a la actividad

Para lograr una mejor y acertada aproximación al cálculo es conveniente obtener el valor de la contra-huella asociada al terreno. Esto es, multiplicar el área utilizada (T) por dicha actividad (en hectáreas o m²), por el factor de equivalencia o la capacidad de carga media mundial (CC), además del factor de rendimiento (Fr) de la productividad de las tierras también a nivel mundial. Así, obtenemos la siguiente expresión:

$$\text{contrahuella} = T * CC * Fr$$

4. Calcular HE total global de la actividad.

Finalmente, la huella parcial obtenida se multiplica por el número de habitantes o tamaño de la población (N) para obtener la HE total agregada de la población, sector o actividad

estudiada y se le resta el resultado obtenido de la contra-huella correspondiente. Siendo la formula aplicada la siguiente:

$$HE = he * N - contrahuella$$

Una vez que se obtiene este dato, se compara con el territorio productivo disponible y se realizan las interpretaciones de acuerdo con ello. En los casos en los que la HE calculada sea mayor que la capacidad productiva de la región, se tiene que los patrones de consumo para dicha actividad o población no es sustentable, es decir, existe un déficit ecológico, porque se está consumiendo más tierra de la que se dispone (Martínez, 2007). Consecuentemente es necesario recurrir a proyectos de mejoras ambientales con el fin de mitigar el impacto negativo que esta población en cuestión está ejerciendo sobre el medio ambiente. En caso contrario, evidentemente se está en presencia de un resultado positivo, donde las actividades de la población de estudio son sustentables.

Como ejemplo, se muestra la aproximación de la HE derivada del consumo de agua de una unidad productiva determinada. El cálculo es una adaptación del método, ya que el uso de este recurso no se refleja directamente por los autores, pero debido al aumento de la escasez del mismo. Para alcanzar resultados satisfactorios, se considera a los bosques como productores de agua, motivo por el cual se incluye el consumo de este recurso en el área forestal. Además, queda establecido la unidad de tiempo en “año”, para simplificaciones del caso.

El procedimiento correspondiente seria el siguiente:

- a) Determinar el contexto y datos básicos de la actividad.

En este primer paso, se obtienen datos básicos de la actividad seleccionada, pero principalmente, se conoce la superficie ocupada para la práctica agrícola a la que se dedica, necesaria para realizar los cálculos de su HE. Por ejemplo, consideremos una finca agropecuaria que tiene una superficie de 32 hectáreas destinadas al cultivo de un producto agrícola determinado.

Además, es necesario conocer las cifras del consumo de agua de la unidad productiva a la cual se quiere realizar el cálculo. Estas cifras pueden presentarse en unidades físicas de consumo (m^3), o a partir de costos de consumo dados en base a la moneda nacional. En caso de ser por costos, deben realizarse previamente las conversiones respecto a las tarifas nacionales vigentes para su aplicación en la fórmula. En este caso, tomamos como ejemplo un consumo anual de $267580m^3$ de agua en la unidad productiva a lo largo de un año.

- b) Transformar estos consumos en superficie biológica productiva apropiada a través de índices de productividad.

Al tomar en cuenta los bosques como principal productor de agua para el consumo del sector agrario, se considera la hipótesis de que un bosque de zonas húmedas puede producir $1.500 m^3$ de agua dulce por hectárea/año.

$$HE_a = \frac{C}{P_b} * Fe_b$$

HE_a : huella ecológica por el consumo de agua (ha).

C : consumo de agua (m^3).

P_b : productividad de bosques (m^3/ha).

Fe_b : factor de equivalencia para los bosques.

Haciendo la sustitución de variables se obtiene que:

$$C=267580m^3$$

$$P_b=1500m^3/ha$$

$$Fe_b=0,5$$

De esta manera, realizando la sustitución, queda expresada la fórmula de la siguiente manera:

$$HE_a = \frac{267580m^3}{1500m^3/ha} * 0.5$$

Así se obtiene como resultado un total de 89,1 ha.

El resultado debe ser multiplicado por el factor de rendimiento de los bosques, el cual es de 1,33. De esta manera, el resultado de la medición de la HE total correspondiente al consumo de agua es de 118,6 ha.

c) Determinar la contra-huella correspondiente a la actividad.

Luego de conocer el área total destinada a la actividad agrícola de la finca agropecuaria, se puede realizar el cálculo de la contra-huella, para determinar más adelante la HE total. Entonces la contra-huella asociada será la siguiente:

$$contrahuella = 32ha * 1.33 * 2.7$$

Lo que arroja un resultado de 114,9ha como contra-huella.

d) Determinar la HE correspondiente al consumo de agua de la unidad productiva.

. Dado que se está realizando el cálculo de una sola unidad productiva el valor de N es igual a 1, por lo tanto, la HE parcial es la misma que la total agregada. Luego, a este resultado se le debe restar su contra-huella asociada para conocer la HE referente al consumo de agua de la actividad seleccionada, así nos queda:

$$HE_{total} = 118,6Ha - 114,9Ha$$

Por lo tanto la HE total referente al consumo de agua de la actividad agrícola seleccionada es de 3.7Hag (la unidad se establece por la globalización de los datos utilizados en el cálculo). Es decir, que se requieren de 3.7 hectáreas de bosques para producir el agua consumida a lo largo de un año en la finca agropecuaria objeto de estudio.

De acuerdo a este resultado, se hacen comparaciones con la capacidad bioproductiva del terreno donde se encuentra la finca agropecuaria. A partir del cual, se conoce si dicha actividad es sostenible o hay un déficit ecológico debido a ella, y así, se toman estrategias para optimizar el consumo de agua necesario para mantener la producción anual de dicha actividad.

2.6 Método White Whatch

El desarrollo de un sistema web requiere de métodos que se adapten eficientemente a los objetivos planteados inicialmente, incluyendo la implementación de las herramientas tecnológicas necesarias para su ejecución. Esta versión es idónea para este tipo de proyecto, ya que permite la versatilidad al momento de agregar nuevos componentes en el sistema, gracias a su flexibilidad en la parte de desarrollo del producto, dedicándole más tiempo a la puesta a punto del producto para lograr un mejor acabado del mismo. Esta versión además permite que se realicen ajustes a medida que se avanza, incorporando mejoras en el camino del desarrollo que anteriormente no se tenían en cuenta y que puedan surgir gracias a las pruebas continuas a las que está sujeto el proyecto, garantizando un producto de final de mejor calidad y menos propenso a errores. Siendo la versión simplificada del método Watch, especifica los procesos para obtener los resultados deseados, incluyendo las etapas necesarias para alcanzar un producto de calidad.

2.6.1 Modelo de procesos del método

El modelo de procesos de este método está agrupado en dos clases de procesos complementarios (Barrios y Montilva, 2010):

1. Los procesos gerenciales: describen las actividades que el líder del proyecto debe realizar para:

- Planificar, organizar y controlar el proceso de desarrollo del proyecto.
- Asegurar la calidad del sistema mediante validaciones y verificaciones.

- Gestionar los cambios en las especificaciones del producto.

2. Los procesos técnicos de desarrollo del producto de software: son los referidos a los procesos que debe seguir el equipo de trabajo para elaborar un proyecto poco complejo.

El método White-Whatch está inspirado en la metáfora de reloj de pulsera, ubicando en forma circular los procesos técnicos y en el centro a los procesos gerenciales, siendo éste el motor de control del resto de procesos que intervienen en el sistema (Figura 2).

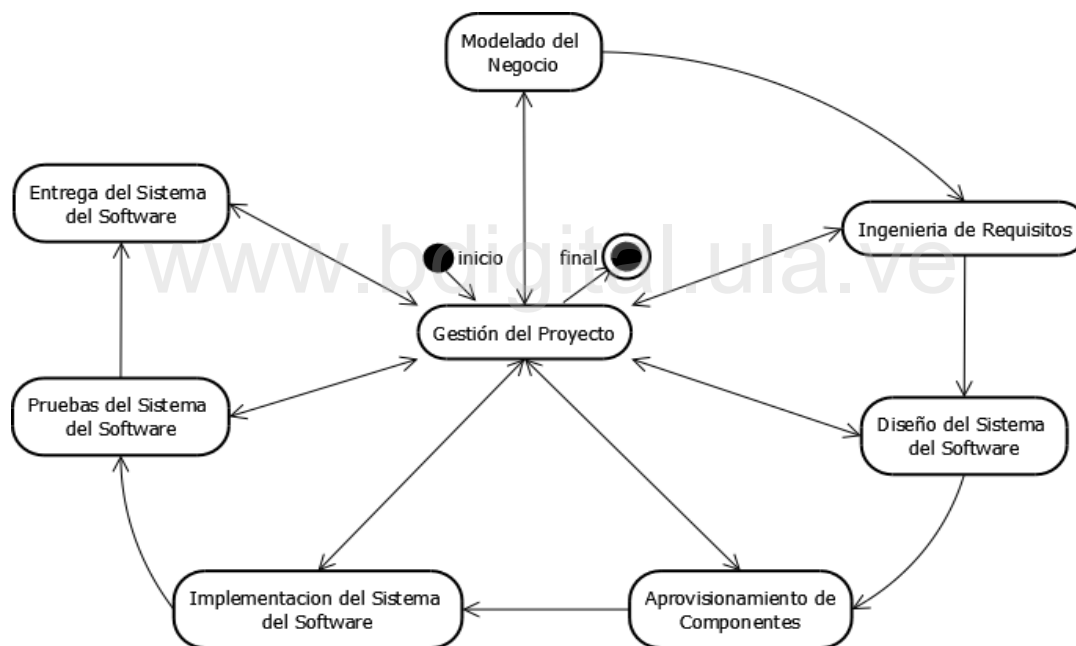


Figura 2: Modelo de procesos del método White-Whatch

El modelo de procesos está estructurado de manera que su desarrollo sea cíclico, iterativo y controlado, para que de esta manera, cada ciclo produzca una nueva versión mejorada del sistema, o un subsistema del mismo si se toma el enfoque de desarrollo incremental. En cada ciclo se puede iterar entre los procesos técnicos a fin de corregir errores, introducir nuevos requisitos o, simplemente, mejorar el producto en desarrollo (Barrios y Montilva,

2010). Como parte del método, el modelo de procesos debe ser adaptado por el líder del proyecto según sea requerido y las particularidades que posea el mismo.

Establece un conjunto de supuestos de los cuales se apoyan las actividades de los procesos que se muestran en la Figura 1. Estos supuestos son:

- Los integrantes del proyecto cuentan con los conocimientos previos para la puesta en marcha del mismo.
- El desarrollo evolutivo es la base para establecer el número de ciclos o iteraciones que se realizarán. Se asume que la primera versión del proyecto ya es operativa y que cada nueva versión es el resultado de la corrección de errores o deficiencias, inclusión de nuevos requisitos y/o mejoras en sus componentes.
- El modelo de desarrollo se fundamenta en la máxima reutilización de sus componentes
- Se espera que se utilicen herramientas de apoyo automatizadas, basadas en la notación UML, para la elaboración de la documentación técnica del proyecto.

Como toda guía metodológica, permite ser adaptada según las particularidades del proyecto. Entre los factores a considerar para tal adaptación se tienen las características propias del producto y de los ambientes de desarrollo y de operación.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de trabajo del Modelo de Procesos del método White Watch, demostrando la flexibilidad de la método, la cual considera proyectos que no desarrollan aplicaciones empresariales, omitiendo el modelado del negocio e iniciando directamente en la ingeniería de requisitos. Esto afianza su uso en el desarrollo de un nuevo software que no está dedicado a una empresa en específico y que pretende ser modificado según sea requerido para el mejoramiento continuo del sistema web.

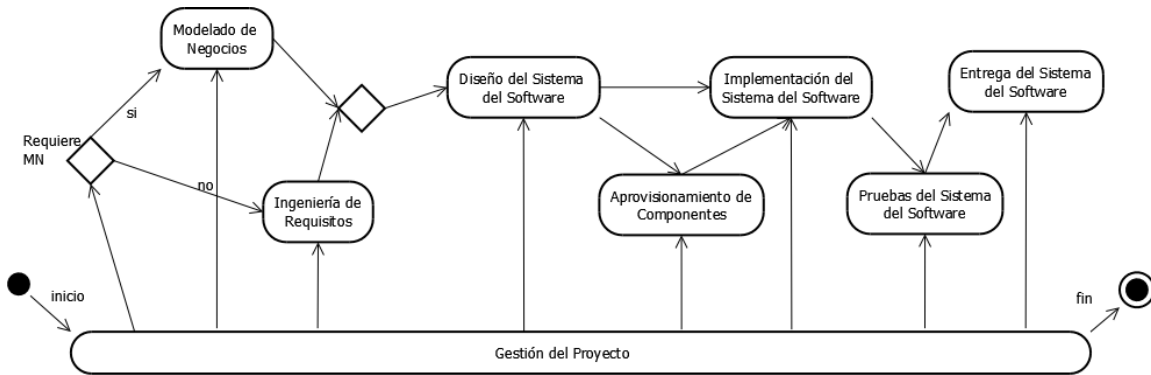


Figura 3: Flujo de trabajo del método White-Whatch

Tomando en cuenta que el sistema web no es una aplicación empresarial, se inició el proceso a partir de la ingeniería de requisitos. A continuación (Tabla 3), se muestran detalladamente los procesos que intervienen en el proyecto del sistema web para la medición de la HE en actividades agrícolas.

Proceso general	Proceso específico
Proceso Gerencial	Gestión del proyecto
Procesos de desarrollo	Ingeniería de requisitos
	Diseño de software
	Aprovisionamiento de componentes
	Ensamblaje del sistema de software
	Pruebas del sistema de software

	Entrega del sistema de software
--	---------------------------------

Tabla 3: Procesos que intervienen en el sistema web.

Las actividades referentes a cada proceso están especificadas en las tablas del anexo A, al final del documento.

2.7 UML

El lenguaje unificado de modelado (UML, 2018) por sus siglas en inglés, es un lenguaje usado para el modelado de software, siendo el más conocido y utilizado en todo el mundo y respaldado por el Object Management Group (OMG (www.omg.org)). Es usado para documentar, diseñar y construir sistemas, compuesto por elementos gráficos para formar diagramas contando con una serie de reglas para combinar tales elementos. Con este lenguaje se hace la representación de un sistema, pero no indica cómo se implementa el mismo.

A pesar de tratarse de un lenguaje, no puede ser comparado con la programación estructurada, ya que solo representa mediante diagramas la realidad de un requerimiento, pero la programación orientada a objetos se convierte en un complemento ideal de UML, pero no solo es usado para ese tipo de programación.

Desde el año 2005, UML es un estándar aprobado por la ISO como ISO/IEC 19501:2005 Information technology — Open Distributed Processing — Unified Modeling Language (UML) Versión 1.4.2. En el año 2012 se actualizó la norma a la última versión definitiva disponible en ese momento, la 2.4.1, dando lugar a las normas ISO/IEC 19505-1 e ISO/IEC 19505-2.

Están clasificados en tres grupos (UML, 2018):

1. Diagramas estructurales: representan la estructura estática de los elementos del sistema.
2. Diagramas de comportamiento: muestran los comportamientos dinámicos del sistema.
3. Diagramas de interacción: muestran las interacciones entre los elementos del sistema.

Durante el desarrollo del proyecto se hizo uso de los diagramas presentados a continuación:

Diagrama de casos de uso: es el tipo de diagrama UML más conocido, aquí son representadas las diferentes funciones que necesitan los actores que intervienen en el sistema y cómo interactúan estas diferentes funciones.

Diagrama de estados: estos describen el comportamiento de los objetos que actúan de acuerdo con el estado en que se encuentran en un momento particular.

2.8 MariaDB

En este apartado se hacen las definiciones referentes a base de datos, la cual es utilizada por todo sistema web, necesario para el almacenamiento, administración y uso de datos por parte de los usuarios que intervienen en dicho sistema.

2.8.1 Base de datos

Una base de datos es un conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos ha sido diseñada para satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización (Marqués, 2009). Puede ser usada por uno o varios usuarios, es creada una sola vez y todos los datos se integran con una mínima cantidad de duplicidad.

Además, la base de datos no sólo contiene los datos de la organización, también almacena una descripción de dichos datos. Esta descripción es lo que se denomina metadatos.

2.8.2 Sistema de gestión de base de datos

El sistema de gestión de la base de datos (en adelante SGBD) es una aplicación que permite a los usuarios definir, crear y mantener la base de datos, además de proporcionar un acceso controlado a la misma. Se denomina sistema de bases de datos al conjunto formado por la base de datos, el SGBD y los programas de aplicación que dan servicio a la empresa u organización (Marqués, 2009).

En general, un SGBD proporciona los siguientes servicios (Marqués, 2009):

- Permite la definición de la base de datos mediante un lenguaje de definición de datos. Este lenguaje permite especificar la estructura y el tipo de los datos, así como las restricciones sobre los datos.
- Permite la inserción, actualización, eliminación y consulta de datos mediante un lenguaje de manejo de datos. El hecho de disponer de un lenguaje para realizar consultas reduce el problema de los sistemas de ficheros, en los que el usuario tiene que trabajar con un conjunto fijo de consultas, o bien, dispone de un gran número de programas de aplicación costosos de gestionar.

2.8.3 Estructura de datos relacional

El modelo relacional se basa en el concepto matemático de *relación*, que gráficamente se representa mediante una tabla. E.F. Codd, que era un experto matemático, utilizó una terminología perteneciente a las matemáticas, en concreto de la teoría de conjuntos y de la lógica de predicados. Las relaciones se suelen representar gráficamente mediante tablas. Los nombres de las columnas corresponden a los nombres de los atributos y las filas son cada una de las tuplas de la relación. Los valores que aparecen en cada una de las columnas pertenecen al conjunto de valores del dominio sobre el que está definido el atributo correspondiente (Marqués, 2009).

2.8.4 Modelo entidad relación

El modelo entidad-relación es el modelo conceptual más utilizado para el diseño conceptual de bases de datos. Fue introducido por Peter Chen en 1976. El modelo entidad-relación está formado por un conjunto de conceptos que permiten describir la realidad mediante un conjunto de representaciones gráficas y lingüísticas (Marqués, 2009).

Su uso en la base de datos se trata de mostrar las entidades o tablas que la conforman, mostrando la relación que existen entre ellas de manera gráfica, de esta manera se logra un mejor entendimiento de su funcionamiento.

2.8.5 MariaDB

MariaDB es un sistema de gestión de bases de datos derivado de MySQL, creado en 2009 con licencia GPL (General Public License). Es desarrollado por Michael (Monty) Widenius (fundador de MySQL), la fundación MariaDB y la comunidad de desarrolladores de software libre. Introduce dos motores de almacenamiento nuevos, uno llamado Aria -que reemplaza con ventajas a MyISAM- y otro llamado XtraDB -en sustitución de InnoDB. Tiene una alta compatibilidad con MySQL ya que posee las mismas órdenes, interfaces, APIs y bibliotecas, siendo su objetivo poder cambiar un servidor por otro directamente. (MariaDB, 2018).

Todas las mejoras de rendimiento justifican la migración de MySQL a MariaDB, además de tener mejor soporte por parte de los desarrolladores y ha cobrado gran importancia, tanta que algunas distribuciones Linux, han reemplazado MySQL por MariaDB, siendo ésta menos restrictiva y totalmente gratuita.

2.9 JavaScript

JavaScript (abreviado comúnmente JS) es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico. Se utiliza principalmente en su

forma del lado del cliente (*client-side*), implementado como parte de un navegador web permitiendo mejoras en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas aunque existe una forma de JavaScript del lado del servidor (Server-side JavaScript o SSJS). Su uso en aplicaciones externas a la web, por ejemplo en documentos PDF, aplicaciones de escritorio (mayoritariamente widgets) es también significativo (JavaScript, 2018).

Desde el 2012, todos los navegadores modernos soportan completamente ECMAScript 5.1. Los navegadores más antiguos soportan por lo menos ECMAScript 3. La sexta edición, conocida inicialmente como ECMAScript 6 o ES6, se liberó el 17 de julio de 2017. Desde entonces, los estándares ECMAScript están en ciclos de lanzamiento anuales.

2.10 PHP

PHP (acrónimo recursivo de *PHP: Hypertext Preprocessor*) es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. Lo que distingue a PHP de algo del lado del cliente como Javascript es que el código es ejecutado en el servidor, generando HTML y enviándolo al cliente. El cliente recibirá el resultado de ejecutar el script, aunque no se sabrá el código subyacente que era. El servidor web puede ser configurado incluso para que procese todos los ficheros HTML con PHP (PHP, 2018).

Capítulo 3

Diseño y requerimientos del sistema web para el cálculo de la Huella Ecológica en actividades agrícolas

En este capítulo se define el diseño del sistema web reflejado por el método White Whatch en el proceso de desarrollo de diseño de software con el fin de establecer de manera detallada los resultados que se desean obtener para una interfaz amigable con el usuario, con un manejo sencillo que permita el fácil uso del mismo. Se expone de igual manera los requisitos funcionales y no funcionales, además de los casos de uso del sistema web en cuestión y se hace el diseño de la base de datos implementada, haciendo detalles en las tablas utilizadas.

Por razones explicativas, se propone de aquí en adelante nombrar la aplicación de la Huella Ecológica en actividades agrícolas como Huella Ecológica Agrícola (HEA), haciendo una referencia corta al uso específico que se propone en el sistema web.

3.1 Análisis de requerimientos

Para tener definido lo que hace un sistema de software con respecto a sus acciones y funciones es necesario realizar un análisis de requerimientos y, de esta manera, aclarar que hace y que no debe hacer dicho sistema. En este análisis, se toman en cuenta los requisitos funcionales y no funcionales que tienen un rol para el correcto funcionamiento del sistema web.

3.1.1 Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales son las declaraciones de los servicios o funciones que debe ejecutar el sistema y sus componentes para cumplir satisfactoriamente con las características de dicho sistema.

A continuación se presentan los requisitos funcionales del sistema web:

1. Gestionar usuario:

- El sistema permite el registro de usuarios a través de la página correspondiente.
- El sistema envía un correo al usuario para completar su registro y activar su cuenta.
- El sistema permite el inicio de sesión de los usuarios registrados.
- El sistema permite el ingreso a la página del cálculo de la HEA al momento de iniciar sesión.
- El usuario no puede cancelar su cuenta en el sistema.
- El sistema permite cerrar la sesión del usuario cuando desee abandonar el mismo.
- El sistema realiza la validación de cualquier usuario que desee entrar al mismo.

1. Gestionar el cálculo de la HEA:

- El sistema permite crear una o varias unidades por usuario para el cálculo de sus respectivas HE.
- El sistema permite seleccionar la unidad productiva a la cual se le desea realizar la medición.
- El ingreso a la aplicación web para el cálculo de la HEA es a través de la página de gestión de usuario (con sesión iniciada).

2. Gestionar reportes de cálculo de la HEA:

- El ingreso al historial de la HEA del usuario es a través de la página de gestión de usuario.
- El sistema emite el resultado de la HEA a través de la página de la aplicación.

- El historial de la HEA del usuario correspondiente se representa a través de un gráfico para un mejor entendimiento y seguimiento.
- El sistema emite el resultado seleccionado junto con los datos introducidos en un cálculo previo de la HEA.

3.1.2 Requisitos no funcionales

Los requerimientos no funcionales son aquellos que no se relacionan directamente con las funciones principales que maneja el sistema, pero de igual manera forman parte importante para la interacción con el usuario.

Los requisitos no funcionales del sistema web para el cálculo de la HEA se muestran a continuación:

- El sistema debe proporcionar mensajes de error que sean informativos y orientados al usuario.
- El sistema debe poseer interfaces gráficas bien formadas.
- La interfaz de usuario es implementada para navegadores web únicamente con HTML5 y JavaScript.
- El sistema proporciona mensajes de error informativo y orientado al usuario en caso de ingresar caracteres que no se relacionen con el campo correspondiente o en caso de un registro ya almacenado en la base de datos.
- El acceso al sistema web para el cálculo de la HEA puede realizarse desde cualquier computador que esté conectado a una red de internet.

3.1.3 Modelado de actores

Para el diseño del sistema web se requiere la intervención de clases de actores. Éstos están clasificados como:

- a. Usuario no registrado.
- b. Usuario registrado.

Ya definidos los actores que intervienen en el sistema web para el cálculo de la HEA, es necesario determinar las acciones que tienen permitidas. En la Tabla 4 se especifican y se detallan estas acciones para tener una noción clara del alcance que cada uno de ellos tiene al momento de ingresar a este sistema.

Actor	Descripción
Usuario no registrado	Este actor tiene acceso restringido al portal web. Puede visualizar la página principal de la misma, la ventana de información sobre la HE (Conoce Sobre la HE) y la ventana de información institucional (Quiénes Somos). Tiene la opción de registrarse en el sistema a través de la opción Registrarse desplegada en el menú o a través de la ventana de inicio de sesión que posee la misma opción.
Usuario registrado	Tiene acceso total en el portal web, luego de iniciar sesión en el sistema además de las ventanas de información sobre la HE (Conoce Sobre la HE) y contacto institucional (Quiénes Somos) también puede ingresar a la ventana donde realiza el cálculo de la Huella Ecológica de las actividades agrícolas a través de la aplicación web correspondiente. Puede crear una o varias unidades productivas a las cuales desea realizar cálculos y seguimientos. El actor también tiene acceso a la ventana donde puede consultar el historial de sus anteriores cálculos de la HEA.

Tabla 4: Modelado de actores

3.2 Casos de uso

Los casos de uso describen los procesos que los usuarios del sistema web pueden realizar una vez que ingresen a la misma, éstos definen los posibles comportamientos que se pueden seguir y que deben ser realizados con total normalidad para cumplir con el correcto funcionamiento del sistema y al mismo tiempo garantizar la satisfacción del usuario, todo esto de acuerdo a los actores que intervienen en estos procesos.

3.2.1 Definición de los casos de uso

En la Tabla 5 se ven representados los casos de uso involucrados en el sistema web, junto con su descripción correspondiente.

Caso de uso	Descripción
CU1. Visualizar información HEA	Permite visualizar la información referente a la Huella Ecológica
CU2. Visualizar información institucional	Permite visualizar la información básica y de contacto del proyecto HEA
CU3. Registrar usuario	Permite el registro de un nuevo usuario en el sistema
CU4. Ingresar al sistema	Permite a los usuarios previamente registrados el ingreso al sistema web

CU5. Calcular HEA	Permite el cálculo de la HEA a través de la aplicación web
CU6. Consultar historial HEA	arroja a través de un gráfico los resultados anteriores obtenidos a través de la aplicación web de la HEA del usuario
CU7. Validar usuario	El sistema verifica si el usuario está o no registrado en el sistema al momento de iniciar sesión.
CU8. Registrar unidad productiva	El sistema permite al usuario registrado crear una o varias unidades productivas.
CU9. Consultar resultado específico de la HEA	El sistema permite consultar los datos suministrados por el usuario en una medición previa de la HEA

Tabla 5: Casos de uso.

3.2.2 Diagramas de casos de uso

Para una mejor representación de los casos de uso, se presentan a continuación en la Figura 4 y Figura 5 los diagramas correspondientes a los actores que intervienen en el sistema web, definidos anteriormente.

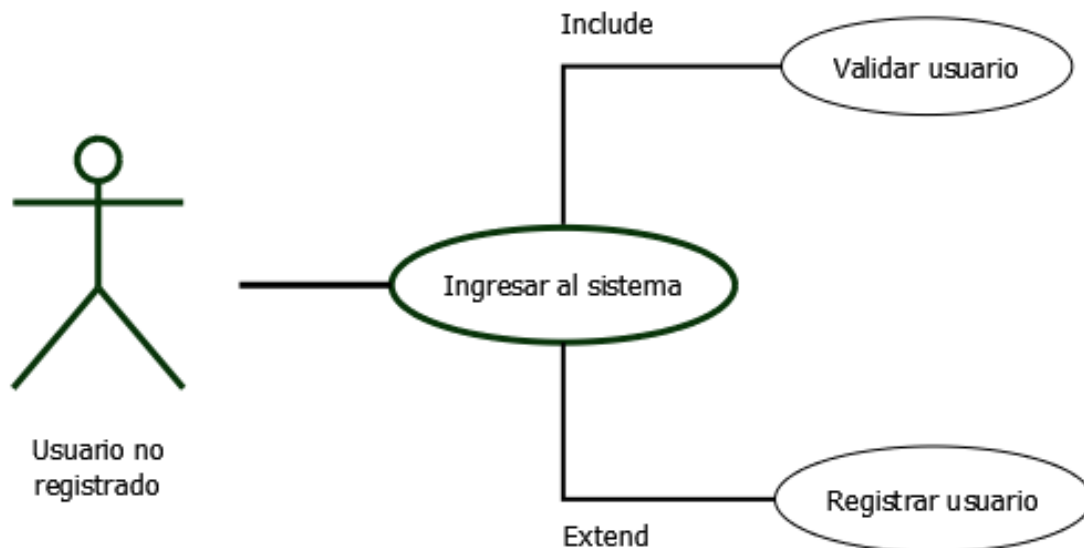


Figura 4: Diagrama de caso de uso (CU4). Ingresar al sistema.

Una vez que se procede a la validación del actor que ingresa al sistema, se pueden distinguir los dos tipos de usuario que intervienen en el portal web, dando paso a los casos de usos representados en el diagrama de la Figura 5.

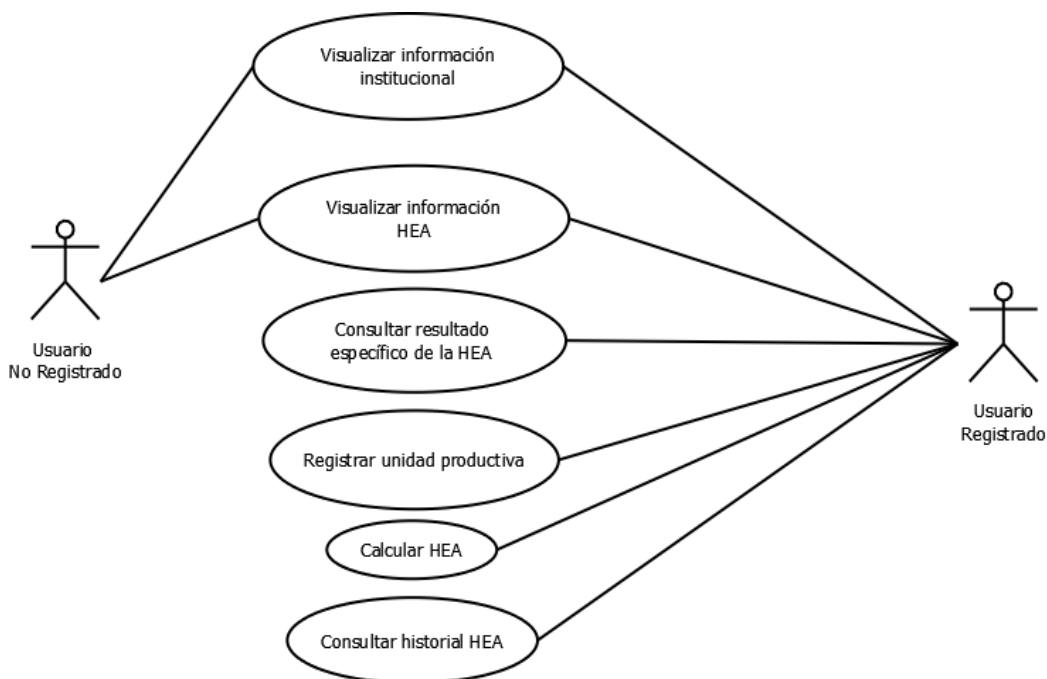


Figura 5: Diagrama de casos de uso.

3.2.3 Descripción textual de los casos de uso

La descripción de los casos de uso se representa en las tablas a continuación, donde se reflejan sus respectivas descripciones, definiendo los actores que intervienen, las condiciones de entrada y salida y los flujos de eventos de estos casos.

Caso de Uso	
CU1. Visualizar información de la HE	
Actores principales	Usuario no registrado, usuario registrado
Condiciones de entrada	Ninguno
Condiciones de salida	Ninguno
Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción “Conoce Sobre la HE” en el menú superior. 2. El sistema muestra la información sobre la HE.
Flujos alternativos	Ninguno

Tabla 6: CU1 Visualizar información de la HE.

Caso de Uso		CU2. Visualizar información institucional
Actores principales		Usuario no registrado, usuario registrado
Condiciones de entrada		Ninguno
Condiciones de salida		Ninguna
Flujo de eventos		1. El usuario selecciona la opción en el menú “Quienes Somos”. 2. El sistema muestra la información institucional
Flujos alternativos		Ninguno

Tabla 7: CU2 Visualizar información institucional.

Caso de Uso		CU3. Registro de usuario
Actores principales		Usuario no registrado
Condiciones de entrada		No estar previamente registrado en el sistema web

Condiciones de salida	Registro satisfactorio en el sistema.
Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción “Registrarse”. 2. El sistema redirige a la ventana para completar los campos correspondientes.
Flujos alternativos	2.a El usuario ingresa mal un dato. 2.b El sistema indica que un dato no es válido según el campo correspondiente. 2.c El usuario olvida ingresar un dato importante para su registro.
Notas	El usuario no debe estar previamente registrado

Tabla 8: CU3 Registro de usuario.

Caso de Uso	CU4. Ingresar al sistema
Actores principales	Usuario registrado
Condiciones de entrada	Estar registrado en el sistema web
Condiciones de salida	Inicio de sesión satisfactorio en el sistema

Flujo de eventos	1. El usuario ingresa al portal web. 2. Selecciona la opción iniciar sesión desplegada en el menú o botón de la página principal. 3. Ingresa los datos requeridos por el sistema (correo y contraseña)
Flujos alternativos	3.a El usuario ingresa mal un dato. 3.b El sistema solicita que ingrese de nuevo los datos porque alguno esta incorrecto o no es válido según el campo correspondiente. 4. Si el usuario no está registrado en el sistema debe hacerlo a través de la ventana correspondiente de registro.

Tabla 9: CU4 Ingresar al sistema.

Caso de Uso		CU5. Calcular HEA
Actores principales		Usuario registrado
Condiciones de entrada		Haber iniciado sesión en el sistema
Condiciones de salida		El cálculo total de la HEA

Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción iniciar sesión. 2. El sistema redirige a la ventana que contiene la opción de calcular HEA. 3. El sistema muestra la aplicación del cálculo de la HEA. 4. El usuario completa los campos requeridos por la aplicación y selecciona el botón calcular.
Flujos alternativos	4.a El usuario ingresa mal un dato. 4.b El sistema solicita que ingrese de nuevo los datos por que alguno esta incorrecto o no es válido según el campo correspondiente. 4.c El usuario olvida ingresar un dato importante para el cálculo de la HEA.
Notas	Si el usuario no está registrado, debe seleccionar la opción registrar.

Tabla 10: CU5 Calcular HEA.

Caso de Uso	CU6. Historial HEA
Actores principales	Usuario registrado
Condiciones de entrada	Haber iniciado sesión en el sistema
Condiciones de salida	El historial de todos los cálculos previos del usuario de la HEA

Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción iniciar sesión. 2. El sistema redirige a la ventana que contiene la opción de historial HEA. 3. El sistema muestra la gráfica de historial de la HEA.
Flujos alternativos	Si el usuario no tiene resultados registrados no se muestra la gráfica
Notas	Si el usuario no está registrado, debe seleccionar la opción registrar.

Tabla 11: CU6. Historial HEA.

Caso de Uso	CU8. Registrar unidad productiva
Actores principales	Usuario registrado
Condiciones de entrada	Haber iniciado sesión en el sistema
Condiciones de salida	Registro satisfactorio de la unidad productiva
Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción iniciar sesión. 2. El sistema redirige a la ventana que contiene la opción para crear unidad productiva 3. El usuario ingresa los datos correspondientes a la unidad productiva y pulsa el botón para registrarla

Flujos alternativos	Ninguno
----------------------------	---------

Tabla 12: CU7. Crear unidad productiva.

Caso de Uso CU9. Consultar resultado específico de la HEA	
Actores principales	Usuario registrado
Condiciones de entrada	Haber iniciado sesión en el sistema
Condiciones de salida	Resultado y datos suministrados en la medición de la HEA seleccionada
Flujo de eventos	1. El usuario selecciona la opción iniciar sesión. 2. El sistema redirige a la ventana que contiene la opción de historial HEA. 3. El usuario selecciona la opción “consultar datos específicos” 4. El sistema redirige a la selección de la medición que se requiere consultar. 5. El sistema despliega por pantalla los datos suministrados para el resultado de la HEA seleccionada.
Flujos alternativos	4.a Si el usuario no posee mediciones realizadas, no podrá realizar la selección.

Tabla 13: CU9 Consultar resultado específico de la HEA.

3.3 Diseño de interfaz

El sistema web para el cálculo de la HEA, permite a usuarios registrados en la base de datos ingresar a través de un inicio de sesión para acceder a la aplicación donde se realiza dicho cálculo. Éste sistema es el primero que ha sido creado exclusivamente a actividades agrícolas, donde es posible llevar un seguimiento a los datos recolectados a través del tiempo para un mismo usuario, y así, darle un uso útil a los resultados arrojados por el software. Las ventanas que conforman el sistema web han sido creadas para una fácil navegación que permita al usuario ingresar a todas sus funciones de manera rápida y sencilla. Bajo éste criterio, las ventanas están divididas en distintas áreas como se muestra en la Figura 6, las cuales, en todos los casos, siempre están presentes y están sujetas a los cambios según el lugar al que ingrese el mismo usuario como lo es el caso del área de contenido y el del menú.

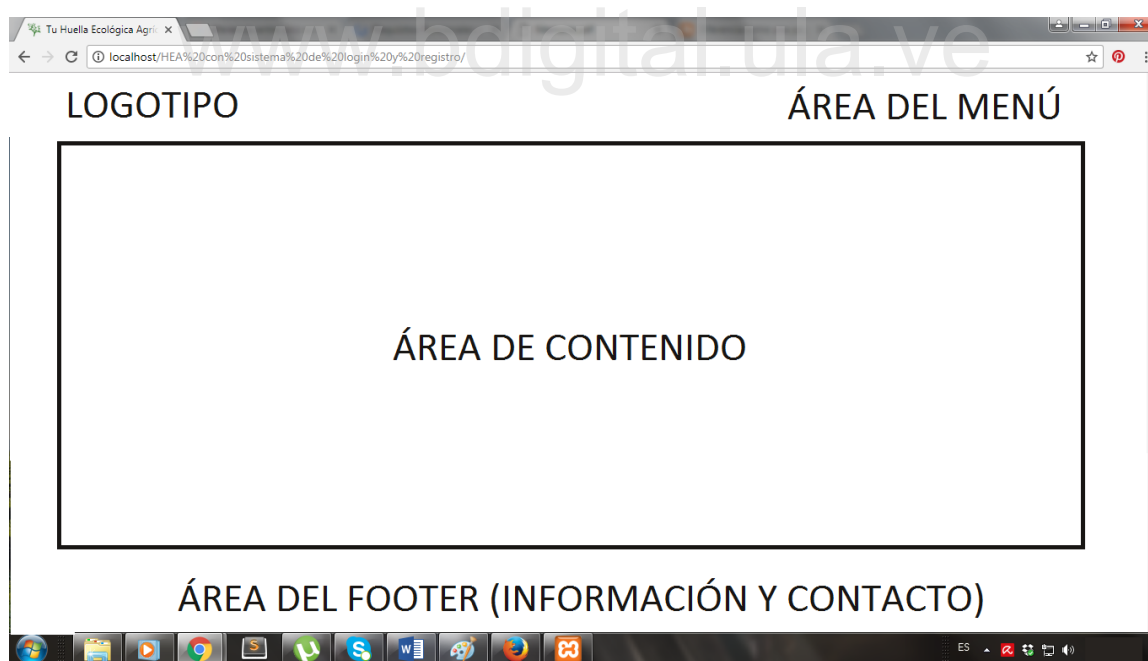


Figura 6: Áreas que conforman la interfaz gráfica del sistema web.

El área del menú solo cambia cuando el usuario ingresa al sistema, es decir, al iniciar sesión, y es agregada la opción de cierre de sesión al mismo. Así mismo, el área de

contenido cambia por cada ventana que pertenece al sistema web, según donde se encuentre, en especial al momento en el que se ingresa a la aplicación donde es calculada la HE.

El sistema web ha sido diseñado bajo una arquitectura cliente-servidor (ver Figura 7), ya que se trata de un software de interacción con los usuarios, donde los datos suministrados son alojados en una base de datos que administra dicha información. A partir de este esquema el usuario ingresa a la página principal o de inicio donde se muestra información del sitio, y sin ingresar al sistema (usuario sin registrar) tiene acceso a las páginas que suministran los datos del proyecto y a la información referente a la HE. Normalmente el servidor es una máquina bastante potente que actúa de depósito de datos y funciona como un Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD).

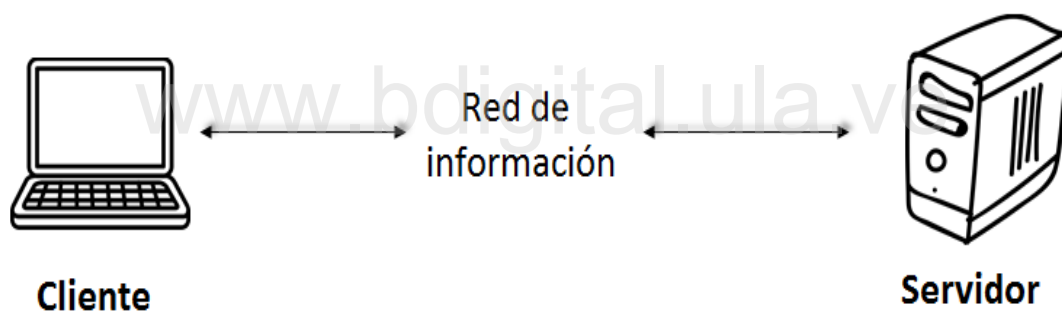


Figura 7: Arquitectura cliente-servidor.

Si el usuario no está registrado en el sistema, éste lo puede hacer a través de la página de registro, donde ingresando por medio del teclado los datos requeridos, tendrá acceso a la aplicación que realiza el cálculo de la HEA, además de tener un historial de la misma para hacer comparaciones de acuerdo a sus acciones tomadas con los datos arrojados por el sistema. Cada usuario registrado puede registrar una o varias unidades productivas a la cual desea tener seguimiento (cálculo e historial de la HE).

3.3.1 Grafo de navegación

El sistema está conformado por una serie de ventanas diseñadas para una manipulación ligera de información en las mismas, esto, con el fin de que el usuario no sea sobrecargado de elementos en una sola ventana que entorpezcan su uso. Con lo anteriormente planteado, se facilita la navegación para garantizar que el usuario logre conocer la totalidad del sistema sin mayores inconvenientes y así alcanzar la interfaz amigable en la que se basa el diseño del sistema web. En la Figura 8 se muestra el grafo de navegación, donde se pueden observar las ventanas que conforman el sistema y flujo entre las mismas.

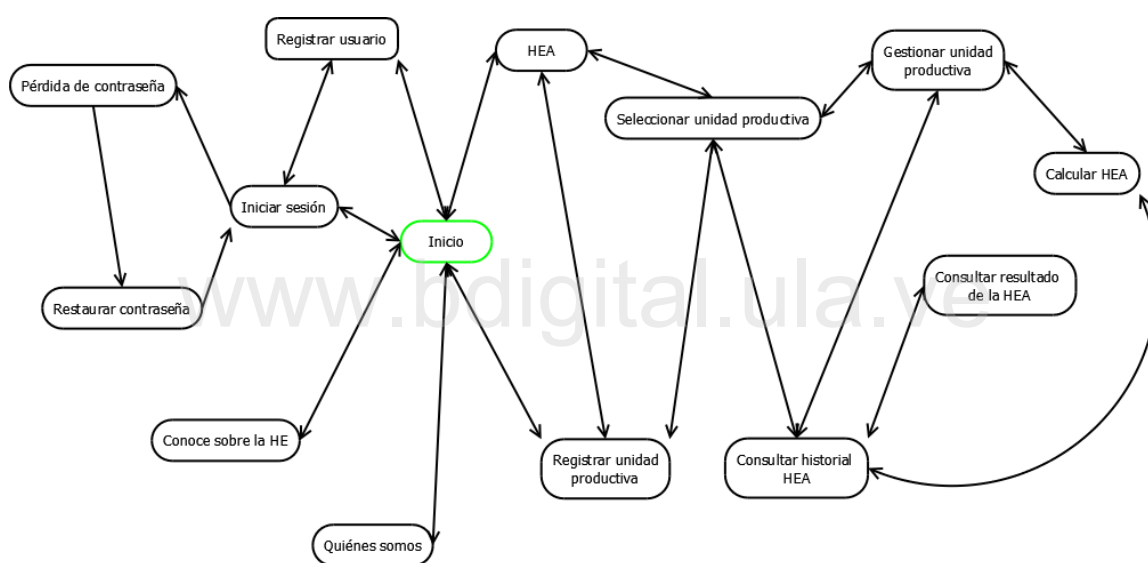


Figura 8: Grafo de navegación.

Cabe destacar que desde todas las ventanas es posible acceder a las opciones que ofrece el menú de la parte superior de la ventana, mostrando siempre las mismas opciones sin importar la ubicación del usuario dentro del sistema.

Ventana de inicio: es la primera ventana que visualizan todos los usuarios del sistema, dando acceso al mismo a través de enlaces a los diferentes sitios según el nivel de acceso.

Registrarse: en esta ventana se visualizan los campos a completar para formar parte del sistema y tener acceso a la aplicación de la HEA.

Iniciar sesión: esta ventana permite el acceso a usuarios previamente registrados al sistema web para el cálculo de la HEA.

Conoce sobre la HE: se visualiza información importante para conocer el método de la HE.

Quiénes somos: en esta página se encuentra toda la información institucional, de contacto y de interés para el usuario.

Calcular HEA: esta ventana muestra al usuario con previo inicio de sesión, las opciones de ingresar a la ventana donde se encuentra la aplicación del cálculo de la HEA, como también la opción para consultar el historial de la HEA.

Aplicación del cálculo de la HEA: en esta ventana se encuentra la aplicación donde se completan los campos requeridos al usuario para mostrar el resultado en la misma de la HEA correspondiente.

Historial HEA: se muestra un gráfico que permite visualizar anteriores cálculos de la HEA del usuario en sesión para llevar un seguimiento del mismo.

Pérdida de contraseña: en caso que el usuario olvide su contraseña es posible ingresar a esta ventana donde se requiere ingresar el correo de registro a donde se envía el código para resetear la contraseña.

Restaurar contraseña: permite crear una nueva contraseña al usuario.

Registrar unidad productiva: permite al usuario ingresar los datos correspondientes a una unidad productiva que desee registrar en el sistema.

Seleccionar unidad productiva: se muestra la opción para seleccionar la unidad productiva específica que desee gestionar.

Consultar resultado de la HEA: permite realizar la selección de la medición específica a la cual se quieren consultar los datos suministrados.

3.3.2 Estilo visual de las ventanas

Siguiendo con el criterio de crear una interfaz amigable con el usuario, las ventanas poseen una estética minimalista, con colores frescos que no sobrecarguen visualmente al usuario con el fin de garantizar su permanencia y uso continuo del sistema web. Los colores elegidos son en gran parte el blanco y el verde, ya que se trata de un tema ambiental y los detalles siempre apuntan al caso. Los botones se muestran de color verde o marrón, y se tienen elementos para seleccionar, redirigir, y accionar funciones del sistema. A continuación se describen las partes que conforman las ventanas del sistema web:

Logotipo: muestra el logotipo del sistema web para el cálculo de la HEA y es a su vez un enlace directo a la página de inicio del mismo.

Menú: en éste se muestran todas las ventanas a las que se pueden acceder. Para los usuarios que no han iniciado sesión o que no estén registrados incluye ambas opciones, ya que en el momento de iniciar sesión, el menú cambia la opción de iniciar sesión por la de cerrar sesión del usuario, bajo la visual de su correo con el que ha hecho el registro.

Área de contenido: el área de contenido varía según donde se encuentre ubicado el usuario, mostrando información referente a la misma, incluyendo la misma aplicación web para el cálculo de la HEA, información sobre la HE, registros, etc.

Pie de página (footer): en todas las ventanas que pertenecen al sistema web se encuentra esta sección que muestra rápidamente datos de contacto en caso que el usuario lo desee, cualquiera sea el caso, junto al copyright del sistema web.

3.4 Diseño de la base de datos

En este apartado se muestran los diagramas de clases y de entidad relación, referentes a la base de datos que conforma el sistema web para el cálculo de la HEA, punto de partida para el manejo de los datos arrojados por el sistema y suministrados por los usuarios que hacen uso del mismo.

3.4.1 Modelo entidad-relación

En la Figura 9, se muestra el modelo de entidad relación que generan las tablas que conforman la base de datos usada por el sistema.

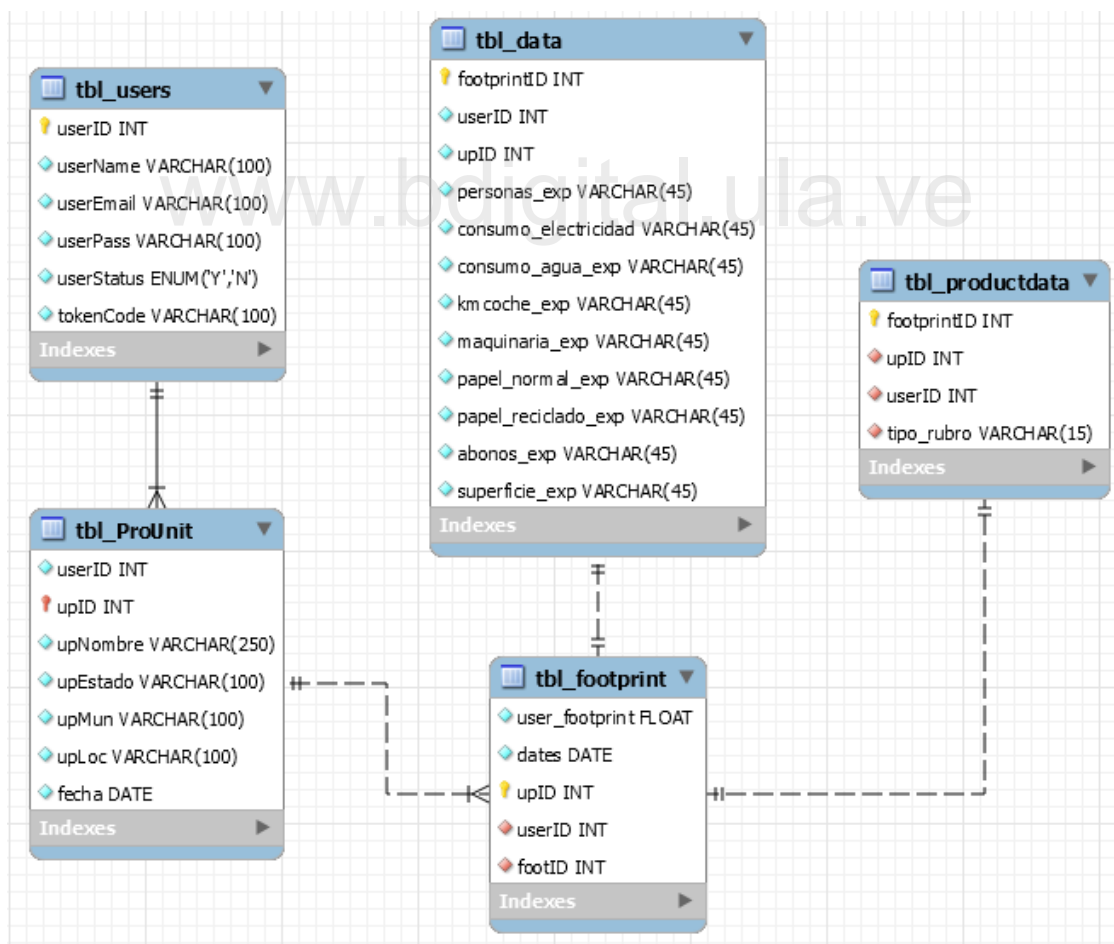


Figura 9: Modelo entidad relación.

3.4.2 Modelo relacional

El modelo relacional es el más utilizado en la actualidad en problemas reales. Es un modelo de organización y gestión de bases de datos para el almacenamiento de datos estructurado en tablas compuestas por filas, o tuplas, y columnas o campos.

- tbl_user(userID, userName, userEmail, userPass, tokenCode, userStatus)
- tbl_prounit(userID, upEstado, upMun, upLoc, upID, upNombre, fecha)
- tbl_footprint(footprintID, user_footprint, dates, upID, userID)
- tbl_data(footprintID, userID, upID, personas_exp, consumo_electricidad, consumo_agua_exp, kmcoche_exp, maquinaria_exp, papel_normal_exp, papel_reciclado_exp, bonos_exp, superficie_exp)
- tbl_productdata(userID, footprintID, upID, tipo_rubro)

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 4

Implementación y prueba

Este capítulo comprende los componentes que conforman el sistema web para el cálculo de la HEA, garantizando su correcto funcionamiento para el cumplimiento de las funciones a las que los usuarios tienen acceso. El sistema de la HEA está construido con un los lenguajes de desarrollo web comúnmente utilizados, como los son HTML, JavaScript y PHP, conjunto a una base de datos que hace uso del lenguaje de consulta estructurado SQL.

4.1 Implementación del sistema

En este apartado se presentan los componentes que conforman la interacción del usuario con el sistema, definiendo además las características necesarias para dicha interfaz usuario/sistema. El sistema ha sido desarrollado bajo un lenguaje del lado del usuario que permita un ambiente amigable y que cumpla con las demandas para las aplicaciones correspondientes que ejecuta el portal web. Durante esta fase es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos:

4.1.1 Construcción interfaz usuario/sistema

El desarrollo del lado del usuario, ha sido creado con el lenguaje PHP, el cual es compatible con distintos lenguajes de desarrollo web como lo son HTML y JavaScript, necesarios para la ejecución de funciones necesarias en la implementación del portal web, junto con el uso de plantillas CSS para el diseño visual. Las ventanas que conforman este sistema tienen extensión “.php”, el cual es indispensable en el establecimiento de la conexión con la base de datos.

El servidor utilizado en el desarrollo del sistema ha sido el paquete XAMPP, completamente gratuita, el cual es una distribución del servidor Apache y fácil de instalar que contiene la gestión de base de datos MySQL (MariaDB), PHP y Perl integrado, capaz de ejecutar las funciones escritas en los lenguajes utilizados.

El proyecto se desarrolló con la utilización de las herramientas que ofrecen los lenguajes implementados en el mismo, como los son botones, inclusión de imágenes, tablas, divisiones e hipervínculos, incluyendo controles en las etiquetas HTML para la ejecución de acciones cuando son requeridas. Además, se incluyen controles de validación, conexión a base de datos (envío y recepción de datos) y principalmente las funciones necesarias para la ejecución de la aplicación para el cálculo y seguimiento de la HEA.

En la Figura 10 se muestra la ventana principal del portal web, la cual es la primera visualización que tienen los usuarios que desean ingresar al sistema y donde se muestran todas las opciones a las que tiene acceso cualquier usuario general.

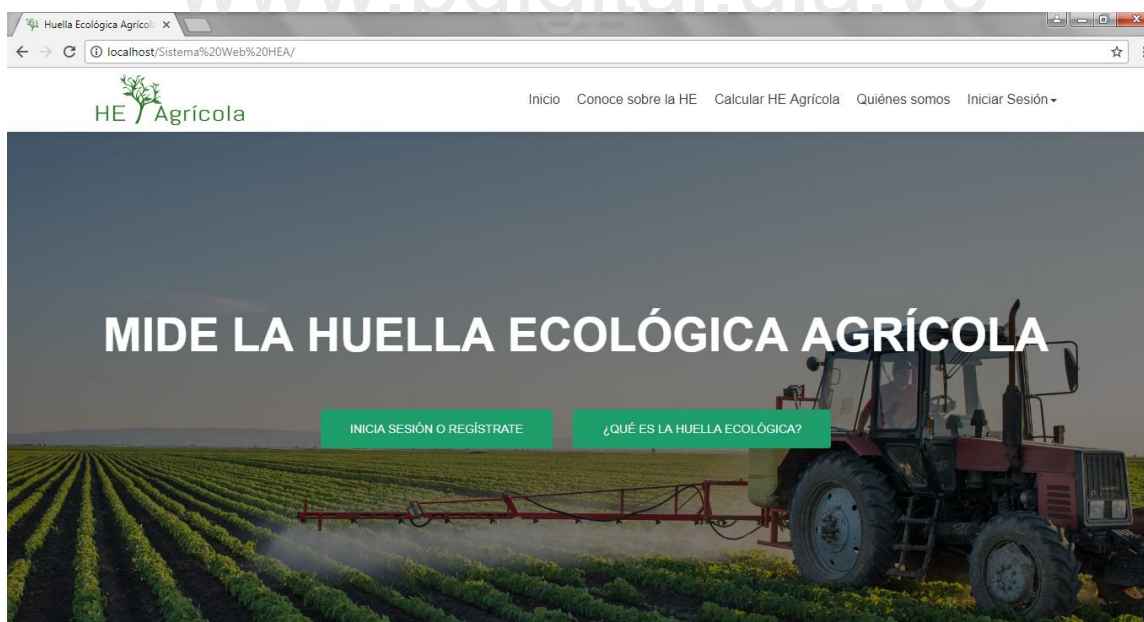


Figura 10: Página de inicio del portal web.

Tanto para los usuarios registrados como no registrados es posible acceder a las opciones en el menú superior siguientes: “Conoce sobre la HE” (ver Figura B.2 en el anexo), “Quiénes somos” (ver Figura B.4 en el anexo) y la ventana de inicio de sesión o de registro según sea el caso del usuario.

Los usuarios registrados pueden iniciar sesión al ingresar a la ventana “Iniciar sesión”, cuya interfaz se muestra en la Figura 11, y la cual se puede acceder a través del botón de la ventana de inicio o a través del menú en la parte superior, donde se deben rellenar los siguientes campos:

Correo electrónico: los usuarios registrados deberán completar este campo con el correo electrónico establecido al momento de su registro.

Contraseña: en este campo se ingresa la contraseña establecida por el usuario y su visualización es de forma oculta, es decir, se muestran puntos en vez de los caracteres reales.

Figura 11: Iniciar sesión.

Al completar este sencillo formulario, el sistema interactúa con la base de datos que se encuentra en el servidor y, en caso de un resultado satisfactorio, el usuario ya puede acceder al sistema web para el cálculo y consulta de la HE de su actividad agraria.

Los usuarios no registrados podrán registrarse en el sistema en la ventana “Registrarse” (Figura 12), a la cual se puede acceder de dos maneras: a través del menú desplegable en la parte superior de las ventanas, o a través de la ventana de inicio de sesión que ofrece la misma opción. Consecuentemente deberán completar los sencillos campos que se le presentan donde se requiere información básica para el manejo de su perfil en la base de datos del sistema, específicamente en la tabla “tbl_users”.

Figura 12: Registro de usuario.

Nombre del usuario: el usuario deberá ingresar un nombre que lo identifique dentro del sistema, siendo éste elegido arbitrariamente.

Correo electrónico: este campo es necesario para ingresar al sistema una vez registrado, y será la dirección a la cual se envía el link de confirmación de usuario para poder tener acceso al sistema web.

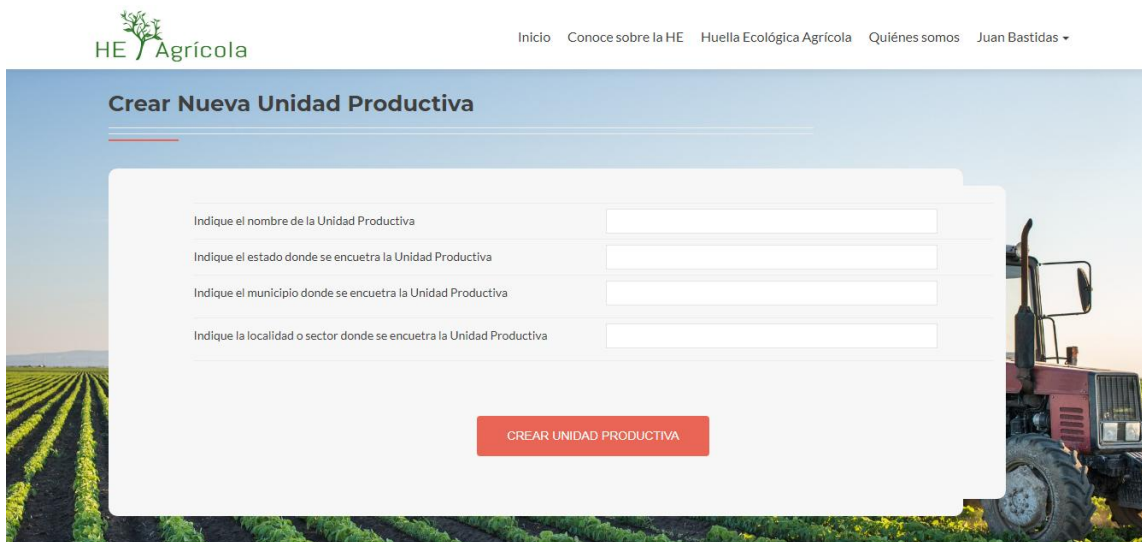
Contraseña: el usuario elige una contraseña de su conveniencia que deberá utilizar cada vez que ingrese al sistema.

Al iniciar sesión, los usuarios registrados son redirigidos a la ventana “HEA” (Figura 13), donde se muestran las opciones para crear una nueva unidad productiva y gestionar la HEA de una unidad en específico, lo cual simplifica la navegación del usuario.



Figura 13: Ventana HEA.

La primera vez que un usuario se registra en el sistema, éste deberá crear una unidad productiva para realizar los cálculos y consultas que le corresponden. Esto se hace a través de la opción “Crear nueva unidad productiva”, ubicado en la ventana “HEA”. A partir de aquí, el usuario debe ingresar los datos correspondientes a su nueva unidad, la cual es registrada en la tabla “tbl_prounit” de la base de datos, para su futuro seguimiento y medición de su HE (Figura 14).



HE Agrícola

Inicio Conoce sobre la HE Huella Ecológica Agrícola Quiénes somos Juan Bastidas ▾

Crear Nueva Unidad Productiva

Indique el nombre de la Unidad Productiva

Indique el estado donde se encuentra la Unidad Productiva

Indique el municipio donde se encuentra la Unidad Productiva

Indique la localidad o sector donde se encuentra la Unidad Productiva

CREAR UNIDAD PRODUCTIVA

Figura 14: Ventana insertar UP.

Como se ha especificado en el capítulo anterior, al seleccionar la opción de calcular o consultar la HEA, se le presenta al usuario un cuadro donde deberá elegir la unidad productiva a la cual desea hacerle cálculos y seguimiento de la HEA (ver Figura B.7 en el anexo). Luego de realizar la selección, se redirige al usuario a la ventana de gestión de la unidad productiva correspondiente.

En la ventana “Gestionar UP” (Figura 15) se presentan al usuario las opciones que tiene a su disposición: calcular HEA e Historial de la HEA. Éstas constituyen el sistema web, y es aquí donde el sistema ejecuta las funciones relevantes para darle al usuario los resultados esperados referentes al método de la HE.



Figura 15: Ventana gestionarUP.

El componente más importante del portal web es su aplicación para el cálculo de la HEA y luego de tener datos del mismo, su respectiva consulta de historial de cálculos previos. A esta aplicación, como ha quedado claro anteriormente, solo pueden acceder usuarios registrados, y se ha creado una interfaz amigable para el entendimiento rápido de cualquier usuario que quiera hacer de este sistema una herramienta útil.

4.1.2 Componentes de la aplicación de la HEA.

La aplicación del cálculo de la HEA se encuentra alojada en la ventana “Calcular Huella Ecológica Agrícola”, cuyo formulario está desarrollado haciendo uso de los lenguajes HTML, JavaScript y PHP, éste último para la interacción con la base de datos.

Al completar el formulario (Figura 16) se ejecuta la función para el cálculo de la HEA, la cual se encuentra en el archivo requerido “funcion_calculo_he.php”, desarrollado en su totalidad en lenguaje PHP y que retorna la variable con el resultado correspondiente.

Al obtener un resultado válido, es decir, no vacío (el sistema no presenta errores en la falta de datos obligatorios), éste se registra en la tabla “tbl_footprint” de la base de datos “dbtest”, para ser utilizados por el sistema cuando sean requeridos. Además, las variables insertadas también son guardadas en la base de datos, correspondiendo a los productos de consumo la tabla “tbl_data” y para los rubros cultivados la tabla “tbl_productdata”.

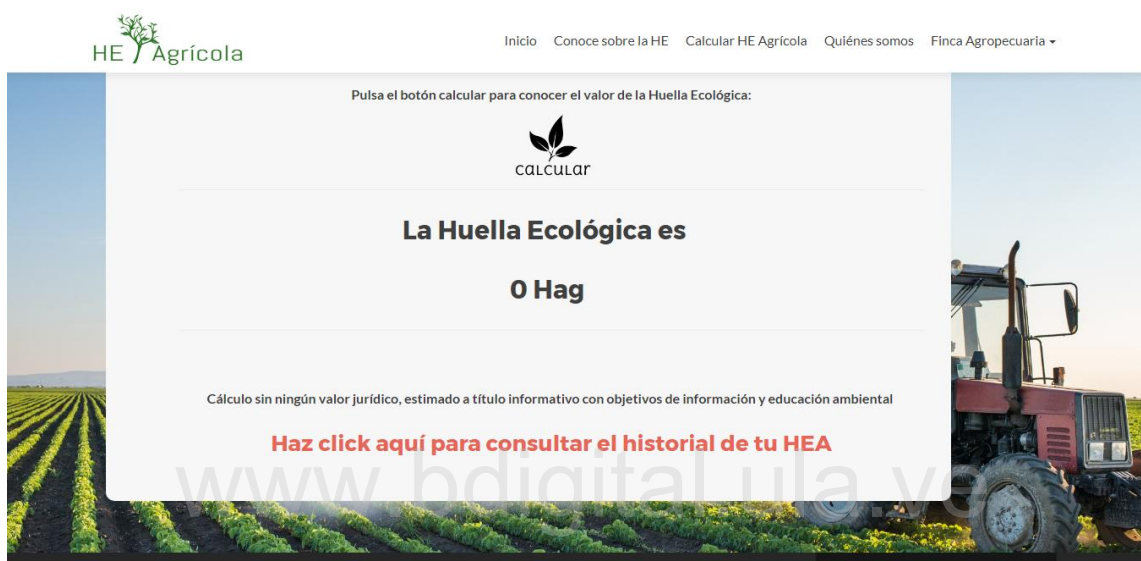


Figura 16: Interfaz de cálculo de la HEA.

4.1.3 Componentes de la consulta de historial de la HEA.

En la ventana “Historial HEA”, se puede visualizar los cálculos previos del usuario que los solicita, a través de una gráfica, generada por el paquete gratuito HighCharts (HighCharts, 2017) basado en el lenguaje JavaScript, utilizando un modelo predeterminado por el mismo paquete, donde se muestra una gráfica de líneas y puntos con leyenda para facilitar la lectura de la misma. Este paquete recibe los datos que se encuentran alojados en la base de datos para construir la línea en función del tiempo según las fechas almacenadas al momento de realizar el cálculo de la HEA.

- El sistema valida el usuario, ejecutando las funciones alojadas en el archivo “class.user.php”, y hace uso del archivo “conexionhistorial.php” donde realiza la

conexión y búsqueda en la base de datos, específicamente en las tablas “tbl_footprint”, “tbl_data” y “tbl_productdata”.

- Luego los datos son pasados paramétricamente a la gráfica para ser presentados a través de la interfaz al usuario.
- Los datos obtenidos en la consulta son procesados para tomar en cuenta estadísticas de la HEA de la unidad productiva seleccionada.

En la Figura 17 se tiene un ejemplo de lo presentado en la ventana “Historial HEA”, donde se muestra la gráfica que el usuario correspondiente debe visualizar.

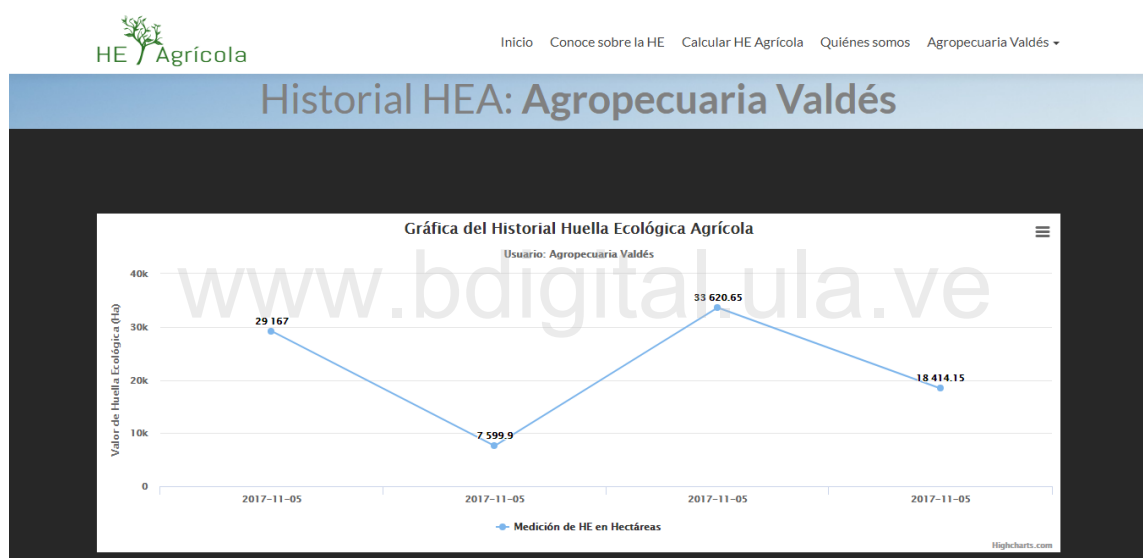


Figura 17: Interfaz gráfica del historial de la HEA.

Si el usuario desea, puede verificar los datos suministrados en una medición previa de la HEA (de la unidad productiva previamente seleccionada), con el fin de realizar comparaciones entre resultados. A partir de la ventana “Historial HEA”, el usuario registrado tiene acceso a esta consulta de datos, donde luego de seleccionar el resultado requerido, el sistema le muestra las variables insertadas para el respectivo valor de la HEA. En la Figura 18, se muestra la ventana “Consulta de datos de la HEA”, dentro de la cual se visualizan los valores registrados en el sistema.



HE Agrícola

Inicio Conoce sobre la HE Huella Ecológica Agrícola Quiénes somos Juan Bastidas

Selecciona un resultado de la Huella Ecológica Agrícola

Unidad Productiva: Agroeco

Huella Ecológica: SELECCIONAR

Resultado de Huella Ecológica Agrícola:

Fecha de cálculo:

Nº de personas que laboran en la explotación: personas

Superficie de la explotación: m2

Gastos por consumo de electricidad: Bs.

Gastos por consumo de Agua: Re

Figura 18: Consulta de resultado de la HEA.

4.1.4 Procedimientos implementados en el sistema web de la HEA.

En la Tabla 14 se presentan los procedimientos implementados en el sistema web, la gestión de usuarios, el cálculo de la HEA y consulta de historial implementados en el lenguaje PHP.

Acción	Caso	Procedimiento	Descripción
Registrar de usuario	Gestionar usuario	Register	Registra los datos del nuevo usuario en la base de datos “dbtest”, tabla “tbl_user”.

Iniciar sesión de usuario	Gestionar usuario	Login	Valida al usuario registrado y en caso satisfactorio concede el acceso al sistema
Cerrar sesión de usuario	Gestionar usuario	Logout	Finaliza la sesión actual del usuario
Registrar unidad productiva	Gestionar cálculo de la HEA	Register_unipro	Registra la unidad productiva ingresada por el usuario en la tabla “tbl_prounit” de la base de datos “dbtest”.
Seleccionar unidad productiva	Gestionar cálculo de la HE	getAllInfoProUnit	Selecciona de la tabla “tbl_prounit” la unidad productiva seleccionada por el usuario.
Calcular la HEA del usuario	Gestionar cálculo de la HEA	calculo_he	Realiza el cálculo de la HEA a partir de los datos suministrados
Registrar resultado de la HEA	Gestionar reporte de la HEA	Register_footprint	Registra el resultado de la HEA del usuario en la base de datos “dbtest”, en la tabla “tbl_footprint”

Graficar el historial de la HEA	Gestionar reporte de la HEA	getAllInfoFootprint	Obtiene los datos necesarios para realizar la gráfica del historial de la HEA
Consultar resultado específico de la HEA	Gestionar reporte de la HEA	getAllInfoFootprint getAllInfoData getAllInfoRubros	Obtiene todos los valores suministrados en una medición específica de la HEA.

Tabla 14: Procedimientos implementados en el sistema web HEA.

4.2 Pruebas del sistema web HEA

Este apartado comprende las pruebas del sistema web, siendo el procedimiento esencial del método White-Whatch para optimizar el producto y generar nuevas ideas que proporcionen mejoras que aumenten el nivel de calidad de la aplicación en desarrollo, así como también verificar que cumpla con lo establecido en los capítulos anteriores y con las funciones definidas para su correcto funcionamiento.

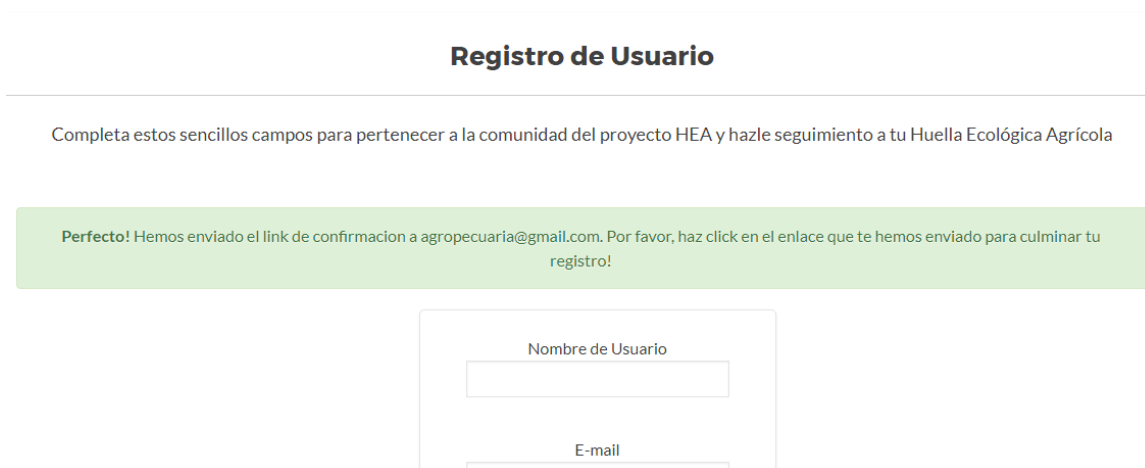
4.2.1 Pruebas de gestión de usuario

A continuación se muestran las pruebas del sistema para el caso de uso de la gestión de usuarios, con el fin de hacer referencia al comportamiento esperado al momento del registro e inicio de sesión de un usuario que desea ingresar al sistema web.

- Registrar usuario.

Un usuario que desee ingresar al sistema y gozar de sus beneficios por primera vez debe registrarse en el mismo. Al ingresar a la ventana de registro, se procede a rellenar los datos correspondientes, en caso satisfactorio, el usuario ya pertenece al sistema y visualiza el

mensaje de registro realizado, en caso de que el correo ya se encuentre en la base de datos, el sistema imprime el mensaje correspondiente a dicho caso como se muestran en la Figura 19 y Figura 20.



Registro de Usuario

Completa estos sencillos campos para pertenecer a la comunidad del proyecto HEA y hazle seguimiento a tu Huella Ecológica Agrícola

Perfecto! Hemos enviado el link de confirmacion a agropecuaria@gmail.com. Por favor, haz click en el enlace que te hemos enviado para culminar tu registro!

Nombre de Usuario

E-mail

Figura 19: Registro satisfactorio.

Inmediatamente realizado el registro, el usuario ahora puede gozar del sistema web en toda su capacidad.



Registro de Usuario

Completa estos sencillos campos para pertenecer a la comunidad del proyecto HEA y hazle seguimiento a tu Huella Ecológica Agrícola

Lo sentimos! Este correo electrónico ya se encuentra registrado. Por favor, intenta con otro.

Nombre de Usuario

E-mail

Figura 20: Correo ya registrado en el sistema.

- Inicio de sesión de usuario.

En caso de que un usuario desee realizar el cálculo o consulta de historial de su HEA, debe iniciar sesión ingresando a la ventana “Iniciar sesión”. Luego de ingresar los datos requeridos, correo y contraseña, el sistema procede a realizar la validación, en caso satisfactorio el usuario es redirigido a la ventana “HEA” donde se muestran las opciones para crear una nueva unidad productiva y gestionar la HEA correspondiente.

En el caso de que el usuario no se encuentre registrado o ingrese un dato incorrecto, el sistema lo informará inmediatamente para que el problema sea corregido por el usuario, o según sea el caso, proceda a registrarse. En la Figura 21 se muestra el mensaje de error suministrado al usuario.



The image shows a login interface with a light green error message box at the top that reads "Oops! Datos Inválidos! o cuenta no registrada :(". Below the message are two input fields: "Ingresa tu correo electrónico:" and "Ingresa tu contraseña:". At the bottom, there are two buttons: a blue "ENTRAR" button and a grey "Regístrate" button, separated by the word "ó". Below these buttons is a link that says "Olvidaste tu contraseña?". A large, semi-transparent watermark "www.boligita.ula.ve" is visible across the center of the form.

Figura 21: Ingreso de datos no válidos en el inicio de sesión.

4.2.2 Pruebas de creación de unidad productiva

Para que el usuario registrado pueda realizar los cálculos y seguimientos que ofrece el sistema web, debe en primer lugar, registrar una unidad productiva. Sin embargo, el sistema permite registrar varias unidades para cada usuario, con el fin de administrarlas eficientemente. A través del menú en la parte superior o por la página “HEA”, se cuenta con la opción “Crear nueva unidad productiva”, lo cual despliega el formulario donde se ingresan los datos correspondientes. Todos los datos son obligatorios, por lo tanto, el sistema arroja un aviso en caso de que exista un dato faltante (Ver Figura B.8 en el anexo). Cuando el registro es completado y se hace clic en la opción “Crear unidad productiva”, los datos ingresados por el usuario son desplegados para corroborar y observar que la unidad ha sido registrada exitosamente (Figura 22).



HE Agrícola

Inicio Conoce sobre la HE Huella Ecológica Agrícola Quiénes somos admin

Indique el municipio donde se encuentra la Unidad Productiva Libertador

Indique la localidad o sector donde se encuentra la Unidad Productiva La Hechicera

CREAR UNIDAD PRODUCTIVA

La Unidad Productiva ha sido creada satisfactoriamente con los datos a continuación:

Nombre de la Unidad Productiva:	Agropecuaria Ecológica
Estado:	Merida
Municipio:	Libertador
Localidad:	La Hechicera
Fecha de creación:	2018-02-10

IR A GESTION DE UP IR A GESTION DE HEA

Figura 22: Unidad productiva registrada satisfactoriamente.

4.2.3 Pruebas de cálculo de la HEA

Luego de iniciar sesión el usuario tiene acceso a la totalidad de las funciones del sistema web. Esto incluye la aplicación que realiza el cálculo de la Huella Ecológica de la actividad agraria que practique el usuario que utiliza este sistema. En la ventana “Calcular tu Huella

Ecológica Agrícola” se puede hacer uso del elemento principal de este sistema, el cual proporcionará los datos que el usuario tendrá a su disposición para crear estrategias que mitiguen el impacto negativo sobre el medio ambiente de sus actividades agrarias.

El código ha sido escrito en lenguaje PHP en base al utilizado por la Asociación de Desarrollo Rural de Andalucía, España (ARA, 2012), adaptado para un uso globalizado, es decir, con valores y variables que permitan la aplicación al contexto venezolano y utiliza los parámetros que se ingresan a través del teclado. El método de la HE proporciona los pasos para realizarlo y la función implementada para realizar el cálculo es el siguiente:

```
function calculo_he ($dpersonas_exp, $dedad_exp, $dano_exp,
$dconsumo_electricidad_exp, $dconsumo_agua_exp, $dkmcoche_exp,
$dmaquinaria_exp, $dpapel_normal_exp, $dpapel_reciclado_exp, $dabonos_exp,
$dsuperficie_exp) {
```

```
//Declaracion de constantes
```

```
$precio_electricidad_exp = 0.096;
```

```
$factor_consumo_agua_exp = 1.5;
```

```
$factor_papel_normal_exp = 760;
```

```
$factor_papel_reciclado_exp = 760;
```

```
$consumo_combustible_coche_exp = 5/100;
```

```
$npersonas_exp = intval($dpersonas_exp);
```

```
$nedad_exp = intval($dedad_exp);
```

```
$nano_exp = intval($dano_exp);
```

```
$consumo_electricidad_exp = floatval($dconsumo_electricidad_exp);
```

```

$consumo_agua_exp= floatval($dconsumo_agua_exp);

$kmcoche_exp = floatval($dkmcoche_exp);

$maquinaria_exp = floatval($dmaquinaria_exp);

$papel_normal_exp = floatval($dpapel_normal_exp);

$papel_reciclado_exp= floatval($dpapel_reciclado_exp);

$abonos_exp = floatval($dabonos_exp);

$superficie_exp = floatval($dsuperficie_exp);

//Cálculo paso 1

$consumo_1_agua_exp = $consumo_agua_exp / $factor_consumo_agua_exp;

$consumo_1_kmcoche_exp= $kmcoche_exp * $consumo_combustible_coche_exp * 12 ;

$consumo_1_maquinaria_exp = $maquinaria_exp * 12;

$consumo_1_papel_normal_exp=$papel_normal_exp /$factor_papel_normal_exp * 12 ;

$consumo_1_papel_reciclado_exp= $papel_reciclado_exp /$factor_papel_reciclado_exp
* 12;

$consumo_1_abonos_exp = $abonos_exp * 12;

$consumo_1_superficie_exp = $superficie_exp/10000;

//Cálculo Paso 2

$consumo_2_agua_exp= $consumo_1_agua_exp * 12 ;

$consumo_2_kmcoche_exp = $consumo_1_kmcoche_exp * 0.8 / 1000 ;

```

$\$consumo_2_maquinaria_exp = \$consumo_1_maquinaria_exp * 0.8 / 1000;$

$\$consumo_2_papel_normal_exp = 35 ;$

$\$consumo_2_papel_reciclado_exp = 17.5;$

$\$consumo_2_abonos_exp = (\$consumo_1_abonos_exp / 370.33) * 20.98;$

$\$consumo_2_superficie_exp = \$consumo_1_superficie_exp * 2.64;$

//Cálculo Paso 3

$\$consumo_3_agua_exp = \$consumo_2_agua_exp / 1500 ;$

$\$consumo_3_kmcoche_exp = \$consumo_2_kmcoche_exp * 41.7 ;$

$\$consumo_3_maquinaria_exp = \$consumo_2_maquinaria_exp * 41.7;$

$\$consumo_3_papel_normal_exp = ((\$consumo_1_papel_normal_exp * \$consumo_2_papel_normal_exp) * 0.0737) / 3.67 + (\$consumo_1_papel_normal_exp / 1.01) ;$

$\$consumo_3_papel_reciclado_exp = ((\$consumo_1_papel_reciclado_exp * \$consumo_2_papel_reciclado_exp) * 0.0737) / 3.67 + (\$consumo_1_papel_reciclado_exp / 1.01);$

$\$consumo_3_abonos_exp = \$consumo_2_abonos_exp * 0.0737;$

$\$consumo_3_superficie_exp = \$consumo_2_superficie_exp * 0.74;$

//Cálculo Paso 4

$\$consumo_4_agua_exp = \$consumo_3_agua_exp * 1.33;$

$\$consumo_4_kmcoche_exp = \$consumo_3_kmcoche_exp * 0.069;$

\$consumo_4_maquinaria_exp = \$consumo_3_maquinaria_exp * 0.069;

\$consumo_4_papel_normal_exp = \$consumo_3_papel_normal_exp * 1.33;

\$consumo_4_papel_reciclado_exp = \$consumo_3_papel_reciclado_exp * 1.33;

\$consumo_4_abonos_exp = \$consumo_3_abonos_exp / 3.67;

//Cálculo HE (hag)

\$HE_electricidad_exp = \$consumo_electricidad_exp * 0.01571;

\$HE_agua_exp = \$consumo_4_agua_exp;

\$HE_kilometroscoche_exp = (\$consumo_4_kmcoche_exp/3.67) * 1.33;

\$HE_maquinaria_exp = (\$consumo_4_maquinaria_exp/3.67) * 1.33;

\$HE_compras_papel_normal_exp = \$consumo_4_papel_normal_exp;

\$HE_compras_papel_reciclado_exp = \$consumo_4_papel_reciclado_exp;

\$HE_abonos_exp = \$consumo_4_abonos_exp * 1.33;

//Cálculo de Totales

\$total_he_exp = \$HE_electricidad_exp + \$HE_agua_exp + \$HE_kilometroscoche_exp +
 \$HE_maquinaria_exp + \$HE_compras_papel_normal_exp +
 \$HE_compras_papel_reciclado_exp + \$HE_abonos_exp;

\$total_he_exp= round(\$total_he_exp * 100,0,PHP_ROUND_HALF_UP) / 100 ;

\$total_he_exp_30_por ciento = \$total_he_exp * 1.30;

\$total_he_exp_30_por ciento = round(\$total_he_exp_30_por ciento *
 100,0,PHP_ROUND_HALF_UP) / 100 ;

```

$contrahuella = round( $consumo_3_superficie_exp * 100, 0, PHP_ROUND_HALF_UP)
/ 100;

$huella_neta = $total_he_exp_30_porcentaje - $contrahuella;

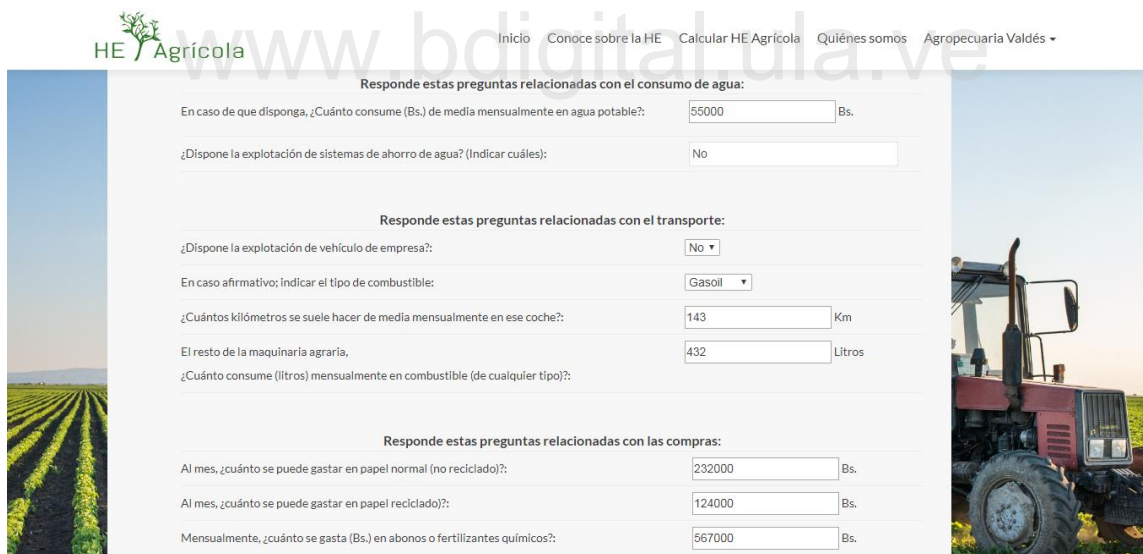
//Resultado de la Huella Ecológica Agrícola Ha globales
$sco2Agrarias=round($huella_neta*100,0,PHP_ROUND_HALF_UP)/100;

return $sco2Agrarias;

}

```

En la Figura 23 se muestra parte del formulario que se debe llenar para obtener el resultado de la HEA, mientras que en la Figura 24 se muestra la prueba de un resultado hipotético después del uso de la aplicación para un usuario en sesión.



The screenshot shows the 'HEA Agrícola' application interface. The header includes the logo and navigation links: Inicio, Conoce sobre la HE, Calcular HE Agrícola, Quiénes somos, and Agropecuaria Valdés. The form is divided into three main sections:

- Responde estas preguntas relacionadas con el consumo de agua:**
 - En caso de que disponga, ¿Cuánto consume (Bs.) de media mensualmente en agua potable?: 55000 Bs.
 - ¿Dispone la explotación de sistemas de ahorro de agua? (Indicar cuáles): No
- Responde estas preguntas relacionadas con el transporte:**
 - ¿Dispone la explotación de vehículo de empresa?: No
 - En caso afirmativo; indicar el tipo de combustible: Gasoil
 - ¿Cuántos kilómetros se suele hacer de media mensualmente en ese coche?: 143 Km
 - El resto de la maquinaria agraria, ¿Cuánto consume (litros) mensualmente en combustible (de cualquier tipo)?: 432 Litros
- Responde estas preguntas relacionadas con las compras:**
 - Al mes, ¿cuánto se puede gastar en papel normal (no reciclado)?: 232000 Bs.
 - Al mes, ¿cuánto se puede gastar en papel reciclado?: 124000 Bs.
 - Mensualmente, ¿cuánto se gasta (Bs.) en abonos o fertilizantes químicos?: 567000 Bs.

Figura 23: Llenado de datos de la aplicación HEA.

Cuando todos los datos son ingresados al formulario, el usuario procede a hacer clic en el botón calcular, y la ventana se recargará con el fin de imprimir el resultado procesado.



Figura 24: Muestra de resultado de la aplicación HEA.

El sistema también valida que el usuario ingrese los datos en su totalidad, o al menos los necesarios para el cálculo de la HEA, para poder aplicar las funciones correspondientes y no falte uno de los datos obligatorios. En la Figura 25 se muestra un caso en el que uno de los campos no es completado y el sistema arroja el mensaje de alerta al usuario.



Figura 25: Dato faltante en la aplicación de la HEA.

4.2.4 Pruebas de la consulta de historial HEA

Una opción interesante en el sistema e innovadora es la de revisar previos cálculos de la HEA del usuario, proporcionando así la ventaja de comparar los valores para saber si las estrategias tomadas por el usuario en sus actividades agrarias aumentaron o disminuyeron el impacto sobre el ambiente. En la figura 26 se muestra la gráfica arrojada por el sistema, suponiendo que el usuario ha suministrado distintos cálculos previos desde su registro.



Figura 26: Historial de la HEA de un usuario.

Además, el sistema proporciona datos de interés para el usuario, para que los use con los fines o propósitos que le convengan, en la Figura 27 se muestran los datos suministrados en una consulta de historial de la HEA. Desde aquí, el usuario puede hacer la consulta de una medición específica de la Huella Ecológica de la unidad productiva correspondiente.



Figura 27: Datos extra de la HEA suministrados por el sistema.

En caso de que el usuario no haya realizado ningún cálculo de su HEA, e ingrese a la opción para consultar el historial de su HEA, el sistema muestra un aviso, para que el usuario sea notificado de la falta de datos para realizar la gráfica correspondiente. Se muestra en la Figura 28 el caso expuesto anteriormente.



Figura 28: Gráfica sin datos suministrados por el usuario.

4.2.5 Pruebas de la consulta de un resultado de la HEA

Es importante que el usuario tenga acceso a los datos suministrados en una medición previa de la HEA. Luego de realizar uno o varios cálculos, el usuario registrado tiene acceso a la ventana donde se puede seleccionar y verificar un resultado específico perteneciente a la unidad productiva anteriormente seleccionada. Si el usuario no ha registrado ningún cálculo, el sistema no muestra la opción ya que no se poseen datos correspondientes.

En la Figura 29, se muestra una hipotética consulta de un resultado, para verificar que los datos arrojados por el sistema son los correctos.



 Inicio Conoce sobre la HE Huella Ecológica Agrícola Quiénes somos Juan Bastidas	
Resultado de Huella Ecológica Agrícola:	3277.38
Fecha de cálculo:	2018-02-12
Nº de personas que laboran en la explotación:	34 personas
Superficie de la explotación:	234 m2
Gastos por consumo de electricidad:	234 Bs.
Gastos por consumo de Agua:	234 Bs.
Recorrido de vehículos:	234234 Km
Gastos por consumo de combustible de la maquinaria:	234234 Litros
Gastos por consumo de papel:	234 Bs.
Gastos por consumo de papel reciclado:	423 Bs.
Gastos por consumo de abonos o fertilizantes químicos:	234234234 Bs.
Rubros cultivados durante el respectivo cálculo:	papas , cebolla , maíz , arroz , sorgo , cana , otros

Figura 29: Resumen de datos de medición de la HEA.

4.3 Pruebas de funciones del sistema web

Las pruebas se realizaron con el fin de evaluar la funcionalidad del sistema bajo el esquema servidor-cliente establecido en el capítulo anterior, verificando que un usuario no presente problema alguno en el momento de navegar por todas las ventanas del portal web desarrollado.

Se hizo prueba de cada ventana que conforma el sistema web para garantizar su correcto uso y sin errores en el mismo (Tabla 15).

Acción	Parámetro de entrada de prueba	Salida esperada	Resultado
Registrar usuario	Datos correctos	Usuario registrado	Satisfactorio
Registrar usuario	Datos incorrectos y/o correo ya registrado	Mensaje de datos inválidos	Satisfactorio
Iniciar sesión	Datos correctos	Sesión iniciada y redirección a la ventana “Calcular HEA”	Satisfactorio
Iniciar sesión	Datos incorrectos	Mensaje de datos inválidos	Satisfactorio
Registrar unidad productiva	Datos completos	Registro en el sistema	Satisfactorio
Registrar unidad productiva	Datos incompletos	Mensaje de elementos obligatorios faltantes	Satisfactorio

Calcular HEA	Completado de formulario correcto	Resultado de la HEA	Satisfactorio
Calcular HEA	Dato(s) faltante(s) en el formulario	Mensaje de dato(s) faltante(s) en el formulario	Satisfactorio
Consulta de la HEA	Resultado obtenido de la HEA	Grafica de historial de la HEA	Satisfactorio
Consulta de la HEA	Sin resultados previos de la HEA	Mensaje por falta de data en el cálculo de la HEA	Satisfactorio
Consulta de resultado específico de la HEA	Valores de los datos previamente suministrados para el cálculo	Impresión por pantalla de los valores de los datos pertenecientes a la medición seleccionada	Satisfactorio

Tabla 15: Prueba de funciones.

4.4 Pruebas de navegación

Las pruebas de navegación (Tabla 16) se realizaron para verificar que los usuarios que entren el portal web no tengan inconvenientes con los enlaces y acciones que se presentan

en el mismo. De esta manera se garantiza que no ocurran errores dentro de las ventanas para cualquier tipo de usuario.

Acción	Condición de entrada	Resultado
Acceso al portal web	Ingresa la dirección correspondiente al portal	Acceso satisfactorio
Registro de usuario	Colocar el mouse sobre la opción iniciar sesión, luego clic en la opción registrar usuario	Acceso satisfactorio
	Pulsar la opción “iniciar sesión”, ingreso a la ventana inicio de sesión y por ultimo pulsar la opción “registrarse”	Acceso satisfactorio
Acceso al sistema	Pulsar la opción “iniciar sesión” en el menú superior o botón principal del portal	Acceso satisfactorio
Visualizar información institucional	Pulsar la opción “Quiénes somos” en el menú superior	Acceso satisfactorio

Visualizar información sobre la HE	Pulsar la opción “Conoce sobre la HE” en el menú superior	Acceso satisfactorio
Calcular HEA	Pulsar la opción “Calcular HEA”, luego pulsar el botón de “Calculo de la HEA”	Acceso satisfactorio
	Pulsar la opción “Calcular HEA” sin haber iniciado sesión	Funciona Correctamente la redirección a la ventana Inicio de sesión
Consultar HEA	Pulsar la opción “Calcular HEA”, luego pulsar el botón “Consulta de Historial HEA”	Acceso satisfactorio
Consultar resultado específico de la HEA	Pulsar la opción “Consulta de historial HEA”, luego la opción “Consulta de resultado específico”	Acceso satisfactorio
Cierre de sesión	Con sesión activa, pulsar la opción “cerrar sesión”	Salida satisfactoria del sistema y redirección a la ventana principal

Tabla 16: Pruebas de navegación.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones

Hacer realidad ideas innovadoras siempre ha sido una de las motivaciones que impulsan los proyectos que construyen el camino del desarrollo en las sociedades latinoamericanas. El sistema web para la medición de la Huella Ecológica de actividades agrícolas es uno de ellos, ya que pretende iniciar un movimiento ambiental nunca antes visto en el territorio venezolano, colocando el tema en primer plano con el desarrollo de esta aplicación, impulsando a las actividades agrícolas a que monitoreen su impacto sobre el medio ambiente y tomen medidas al respecto para incorporar al análisis los parámetros de sostenibilidad agroalimentaria, con el fin de preservar nuestros recursos, no solo nacionales, sino también a nivel mundial, ya que no solo se utilizan recursos producidos dentro de los límites del país.

En el presente trabajo se ha podido demostrar que el método de la HE se ha adaptado satisfactoriamente a un sistema web, gracias a las herramientas de la Ingeniería de Sistemas en conjunto con las Ciencias Económicas para fusionar las bases teóricas del desarrollo sostenible junto con las tecnologías para desarrollo web, siguiendo los pasos del método White-Whatch, indispensable y necesaria para la realización de proyectos de esta magnitud, permitiendo que se realizaran cambios y mejoras durante el proceso de construcción y diseño, brindando de esta manera un producto final de mejor calidad al ideado inicialmente, para tener un mejor enfoque y resultados satisfactorios a los usuarios que deseen implementar este software y que tengan un interés por mitigar el daño agroecológico y conocer si su actividad está siendo sostenible en pro de la satisfacción de las necesidades de la población venezolana.

El sistema ha sido creado con una visión simplista para que cualquier empresa agrícola, de baja y alta envergadura, pueda utilizarla sin presentar algún tipo de inconveniente, llevando un historial que permite el seguimiento de la HEA, y así implementar estrategias que ayuden con la mitigación del impacto negativo que ejercen las actividades agrícolas sobre el ambiente, con el fin de preservar los recursos naturales de nuestro entorno para las generaciones futuras y garantizar la productividad de nuestros suelos.

Las pruebas en el sistema web fueron realizadas satisfactoriamente en todos sus aspectos, registro de usuario, inicio de sesión, uso de la aplicación y consulta de historial de la HEA, la cual puede ser usada en cualquier PC y navegador compatible con los lenguajes HTML, JavaScript y PHP, con conexión a internet desde cualquier lugar dentro y fuera del territorio nacional.

5.2 Recomendaciones

Al tratarse de un sistema nunca antes realizado en Venezuela, pueden surgir una cantidad de recomendaciones para que la evolución del mismo alcance un máximo refinamiento, estableciendo un objetivo a cumplir a lo largo del tiempo. Al ser creado para cumplir el objetivo principal del método de la HE con un software dedicado exclusivamente a actividades agrícolas, pueden recomendarse distintos puntos para aprovechar al máximo los datos suministrados por las empresas agrarias en el país, siendo de gran utilidad para organismos dedicados a la preservación del medio ambiente, tanto públicos como privados. Entre los que por ahora pueden ser mencionados, se presentan los siguientes:

- Incluir un nuevo actor administrador para llevar un seguimiento a los usuarios y tener acceso a todos los resultados de la HEA a través del portal web.
- Una interfaz administrador/sistema que muestre gráficamente la totalidad de los resultados de la HEA para observar su comportamiento.

- Incluir más datos en el momento de registro de usuario y almacenarlos en la base de datos para tener información específica del usuario que pueda tener utilidad en un caso de estudio en el campo.
- Dividir los resultados por territorios (estados y municipios) para conocer los comportamientos por localidades y generar estrategias en conjunto con los organismos y las empresas agrícolas para la mitigación del impacto ecológico.
- Incluir información ambiental en modo educativo.

No es conveniente limitarse al funcionamiento del sistema web, puesto que las consecuencias de su utilidad son bastante amplias en el campo ambiental. Entre otras cosas, la implementación de este sistema web permite contribuir positivamente en los actores que intervienen en las actividades agrarias, con el fin de incentivar las buenas prácticas agrícolas, el uso de nuevas tecnologías, tanto de maquinaria como de planificación de proyectos, que directa o indirectamente ejercen un impacto sobre el ambiente. Además, contribuye con el control de consumo y generación de desechos, a través del conocimiento de los resultados arrojados por el sistema, mediante la creación de estrategias eficientes para la mitigación del daño ecológico, y abre caminos hacia las prácticas agrícolas sustentables, las cuales se acoplan al crecimiento económico buscado en cualquier sociedad.

Gracias a su amplio alcance en cuanto a implementación metodológica, es posible generar una base de datos que proporcionen información importante y necesaria para la contribución de un desarrollo sustentable, pudiéndose crear mecanismos de control y planificación ambiental, reorganización del espacio agrícola y la inserción de capital humano y económico con el fin de lograr el equilibrio medioambiental para la preservación de la capacidad productiva de nuestras tierras. De esta manera, también se puede lograr una contribución para la recolección de datos para organizaciones importantes a nivel mundial, como la FAO o Global Footprint Network, lo que implica una incorporación significativa al área de desarrollo sustentable con soporte internacional en el tema agrícola de la región.

Por lo anteriormente expuesto, una de las recomendaciones más importantes es el seguimiento y ampliación del proyecto, ya que se trata de la recuperación de un campo importante a nivel mundial, explotando el máximo potencial del método de la HE y de esta manera preservar de manera eficiente los suelos destinados no solo a cultivos, sino también otras áreas productivas necesarias para sustentar a la población en general.

www.bdigital.ula.ve

Bibliografía

- Achkar, M. (2005). *Indicadores de sustentabilidad*. Montevideo, Uruguay: Ordenamiento Ambiental del Territorio. Comisión Sectorial de Educación Permanente. DIRAC, Facultad de Ciencias. Disponible en la dirección web www.ucipfg.com/Repositorio/MLGA/MLGA-03/.../Indicadores_de_sostenibilidad.pdf el 12/11/2017.
- Álvarez, S. (2007). *Arquitectura cliente-servidor*. Disponible en la dirección web <https://desarrolloweb.com/articulos/arquitectura-cliente-servidor.html> revisado el 3/01/2018.
- ARA, (2012). Calculadora ecológica. .España, Asociación de Desarrollo Rural de Andalucía. Disponible en la dirección web <http://andaluciarural.org/aphuella>, revisado el 25/11/2017.
- Badii, M. (2008). *La huella ecológica y sustentabilidad (Ecological footprint and sustainability)*. Daena: International Journal of Good Conscience. 3(1), pp. 672-678. Disponible en la dirección web <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/Huella%20Ecologica.pdf>. Revisado el 15/05/2017.
- Barrios, J. y Montilva, J. (2010). *W_Watch: Método White_Watch para el desarrollo de Proyectos Pequeños de Software*. Versión 1.2
- Banco Mundial, (2014). *Medio ambiente: Resultados del sector*. Disponible en la dirección web <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/13/environment-results-profile>. Revisado el 25/03/2018.
- Boadas, A., (s, f). *Ideas para un desarrollo sostenible con referencia a américa tropical y a Venezuela*. Terra. Vol. XXI, 30, 163-197. Disponible en http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_terr/article/view/1308/1234. Revisado el 22/03/2018.

Castillo, P. (2011). *Política económica: crecimiento económico, desarrollo económico, desarrollo sostenible*. Revista Internacional del Mundo Económico y del Derecho, Vol. III, pp. 1-12. Disponible en <http://www.revistainternacionaldelmundoeconomicoydelderecho.net/wp-content/uploads/RIMED-Pol%C3%ADtica-econ%C3%B3mica.pdf>

Centro de Investigación para la paz [CIP – Ecosocial]. (s/ f). *La crisis ecosocial en clave educativa. Guía didáctica para una nueva cultura de paz*. Disponible en la dirección web http://www.fuhem.es/media/ecosocial/File/Proyecto%20Dimensiones%20de%20la%20paz/guia%20ecosocial_recursos/RECURSO%20ACTIVIDAD%2017_Calculo%20huella%20ecologica.pdf. Revisado el 05/12/2017.

Carpintero, O. (2006). *La huella ecológica de la agricultura y la alimentación en España, 1955-2000*. AREAS: Revista Internacional de Ciencias Sociales, 25, pp. 31 – 45. Disponible en <http://revistas.um.es/areas/article/view/127991/119231>. Revisado el 18/01/2017.

Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU (1987). *Informe Brundtland*. Oxford University Press. Disponible en la dirección web www.rumbosostenible.com/wp-content/uploads/2014/06/informe_brundtland.pdf. Revisado el 23/03/2017.

DECSAI (s/f). *Introducción a la base de datos, fundamentos de diseño de base datos*. Universidad de Granada, Departamento de Ciencias de la Computación. Disponible en la dirección web <http://elvex.ugr.es/idbis/db/docs/intro/B%20Bases%20de%20Datos.pdf>. Revisado el 23/01/2018.

Díaz, K. y Rivera, J. (2016). *Metabolismo económico: una medición de la huella ecológica del cultivo de cacao en Tucaní (Mérida, Venezuela), 2012-2015* (tesis de maestría). Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Diputación Foral del Bizkaia, Global Action Plan y Fundación Vida Sostenible (s/f). *Mide tu huella ecológica*. Disponible en la dirección web <http://www.tuhuellaecologica.org/>. Revisado el 15/02/2017.

Doménech, J. (2006). *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*. Terceros Encuentros sobre Desarrollo sostenible y población. Universidad de Málaga. Disponible en la dirección web https://elimpactoambiental.files.wordpress.com/2008/11/huella_ecologica_corporativa.pdf. Revisado el 25/02/2018.

Fernández, X. (1999) *.El análisis de sistemas agrarios: una aportación económico-ecológica a una realidad compleja*. Historia agraria, 19, pp. 115-136. Disponible en http://webs.uvigo.es/economiaecologica/docs/publicacions/ha19_simon.pdf

FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*. Roma, FAO. Disponible en la dirección web <http://www.fao.org/3/a-I7695s.pdf>. Revisado el 20/02/2018.

Fuenmayor, R. (2000). *Sentido y sinsentido del desarrollo*. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones. Disponible en la dirección web http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/14856/sentido_y_sinsentido.pdf. Revisado el 15/06/2017.

Global Footprint Network (2017). *Global Footprint Network*. Disponible en la dirección web <https://www.footprintnetwork.org>. Revisado el 23/05/2017.

Gudynas, E. (2003). *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*. Disponible en <http://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/10985/Ecolog%C3%ADa%20econom%C3%ADa%20y%20%C3%A9tica%20del%20desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Revisado el 05/06/2017.

Herva, M., Franco, A., Fdez-Carrasco, E., y Roca, E. (2008). *La huella ecológica de procesos productivos como indicador de sostenibilidad*. Disponible en la dirección web <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/460/11ARTICULOJUN.pdf>. Revisado el 10/04/2018.

HighCharts (2018). Highcharts. Disponible en la dirección web <https://www.highcharts.com/>. Revisado el 5/11/2017.

JavaScript (2018). JavaScript. Disponible en la dirección web <https://es.wikipedia.org/wiki/JavaScript>. Revisado el 24/01/2018.

León Socorro, D. (2012). *La huella ecológica en Venezuela*. Disponible en la dirección web <http://www.huellaecologica.com.ve/>. Revisado el 22-02-2017.

Martínez Castillo, R. (2007). *Algunos aspectos de la huella ecológica*. Inter Sedes, Vol. VII, 14, pp. 11-25. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/873/934>

Marqués, M. (2009). *Base de datos*. Universitat Jaume I de Castelló, Departamento de Ingeniería y Ciencia de la Computación. Disponible en http://www3.uji.es/~mmarques/apuntes_bbdd/apuntes.pdf. Revisado el 23/01/2018.

Meadows, D. (1970). "Los límites del crecimiento". Boston: MIT. Revisado en la dirección web [web web.uazuay.edu.ec/servicios/facultades/detalle_archivo.php?coda=46213](http://web.uazuay.edu.ec/servicios/facultades/detalle_archivo.php?coda=46213) el 28/02/2017.

Ministerio del Ambiente - Dirección de Información Seguimiento y Evaluación (2011). *Huella Ecológica*. Revisado en la dirección web <http://huella-ecologica.ambiente.gob.ec/index.php> el 15/02/2017.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2007). *Análisis de la Huella Ecológica en España*. España: Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en la dirección web
<http://www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/Huella%20ecologica%20de%20Espana.pdf>. Revisado el 15/01/2018.
- Malthus, R. (1798). *Essay on the Principle of Population*. Londres, Inglaterra. J. Johnson.
- Naredo, J. (1996). *Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible*. Cuadernos de Investigación Urbanística, 41, pp. 7-18. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/121560>. Revisado el 23/01/2017.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], (2008). *Buenas prácticas agrícolas*. Revisado el 15-04-2017 en http://www.fao.org/prods/gap/index_es.html
- Olarte, S., (2012). *Un nuevo paradigma de agronegocio sostenible: análisis y propuesta teórica*. Agroalimentaria. Vol. 18, 35, pp. 31-42. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1992/199224435004.pdf>
- PHP (2018). *¿Qué es php?*. Disponible en <http://php.net/manual/es/intro-what-is.php>. Revisado el 24/01/2018.
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Series manuales, 16. Disponible en <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/S0110817.pdf?sequence=1>. Revisado el 6/03/2017.
- Rees y Wackernagel (2001). *Nuestra huella ecológica. Reduciendo el impacto humano sobre la tierra*. Santiago de Chile, Chile: LOM ediciones.
- Sarandón, J. (s/f). *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas*. Disponible en <http://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/SARANDON-cap-20-Sustentabilidad.pdf>. Revisado el 15/04/2017.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (1980). *Estrategia Mundial para la Conservación*. Disponible en la dirección web <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004-Es.pdf> revisado el 19/01/2018.

UML (2018). *Lenguaje unificado de modelado*. Disponible en la dirección web https://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_unificado_de_modelado. Revisado el 23/01/2018.

www.bdigital.ula.ve

Anexos

www.bdigital.ula.ve

C.C. Reconocimiento

Anexo A

Método White-Watch.

1. Proceso gerencial: gestión del proyecto			
Pasos	Actividades	Técnicas y notaciones	Productos
Planificación del Proyecto	Establecer la visión del producto	Estructuras de grupos	Visión del producto
Organización del grupo de desarrollo	Establecer disponibilidad de recursos	Estimación de costos	Plan del Proyecto
Control del proyecto	Elaborar plan del proyecto	Técnicas de V & V	Documentos del proyecto – informes
Verificación y Validación (V&V)	Definir equipo de desarrollo y responsabilidades	Técnicas de gestión de riesgos	• Documentos de la aplicación
Resolución de Riesgos	Definir lista de riesgos y contingencias	Inspección de diseño y código	• Especificaciones actualizadas
Gestionar cambios en los requisitos del SW	Organizar reuniones de avance del proyecto	Recorridos estructurados	
Control de Documentación	Actualizar el plan	Técnicas de elaboración de documentos técnicos	
Control de la configuración del software	Realizar las revisiones técnicas	Matrices y listas de rastreo de requisitos	
	Analizar viabilidad de	Técnicas de SCM	

	cambios en requisitos Actualizar documentación técnica Elaborar documentos de la aplicación		
--	--	--	--

Tabla A.1: Proceso gerencial.

2. Procesos de desarrollo: ingeniería de requisitos							
Actividades		Tareas		Técnicas y Notaciones		Productos	
Descubrimiento de Requisitos		Determinar los objetivos del sistema de SW		Entrevista		Listado de requisitos del cliente (C)	
		Identificar y clasificar los involucrados y usuarios		Documentación relacionada con el dominio – o el MN		Listado de requisitos	
		Recolectar los requisitos que tienen los		Observación de las actividades que realizan los usuarios			

	involucrados y usuarios		
	Identificar requisitos de información a partir de los diagramas de procesos y de actividades		
Análisis de Requisitos	Validar requisitos con el cliente y usuarios	Técnicas de negociación Matriz de interacción entre requisitos	Documento de Definición de Requisitos (DDR) validado
Especificación de Requisitos	Elaborar los diagramas de casos de uso	Refinamiento de modelo de objetos del negocio (MN) Modelado de sistemas en UML: a. Diagramas de casos de uso b. Diagramas de clases	Documento de Especificación de Requisitos (DER) validado

		c. Diagramas de estado	
		d. Diagramas de secuencias	

Tabla A.2: Procesos de desarrollo.

3. Diseño de software			
Actividades	Tareas	Técnicas y Notaciones	Productos
Definición de la estructura inicial de la aplicación	Determinar requisitos a implementar a partir del DER y relacionarlos con la arquitectura del sistema de SW Establecer las metas de calidad de la arquitectura del sistema de SW Dividir el sistema en subsistemas (si	Integrar diagramas de subsistemas, interfaz, arquitectura y componentes o módulos y BD en Documento de Diseño Definir los procedimientos de respaldo, recuperación y seguridad de la BD Realizar las revisiones técnicas	Listado descriptivo de las metas de diseño Estructura de la aplicación Arquitectura de aplicación

	<i>necesario)</i> Agrupar funcionalidad según subsistemas Refinar casos de uso Refinar diagrama preliminar de clases Elaborar diagramas de secuencia	de validación con el cliente y los usuarios	
Diseño de la Interfaz Usuario/Sistema	Establecer el perfil de los usuarios Establecer perfil de tareas (<i>a partir de los casos de uso</i>) Establecer las características estéticas que deberá tener la interfaz gráfica de la aplicación Establecer los fondos, colores, tipos de fuentes, etc.	Técnicas de Utilidad (<i>usability</i>) Técnicas y estrategias de diseño de interfaces GUI	Diseño de pantallas Diagrama jerárquico de pantallas

	Diseñar la estructura general de la interfaz U/S Elaborar el diagrama jerárquico de pantallas del sistema Definir las características que deben tener los ítems que componen las pantallas de la interfaz: menús, ventanas, íconos, enlaces, cuadros, cajas, etc. Realizar las revisiones técnicas de la interfaz U/S según lo expresado en documentos DDR y DER		
Diseño la BD (si <i>requerido</i>)	Realizar el diseño Conceptual	Diagramas de clase en UML	Modelo conceptual integrado de la BD

	Refinar modelo de clases de objetos de negocio	Modelado de Bases de Datos	Esquema relacional o equivalente de la BD (<i>integrado y verificado</i>)
	Definir los atributos de cada clase de objetos de negocio	Procedimiento de conversión de diagramas de clase a esquemas de relación	Esquema físico de la BD
	Verificar el modelo con los requisitos	Modelado BD <i>Relacionales</i>	
	Validar modelo con los usuarios	Revisión técnica (Inspección de Diseño)	
	Realizar el diseño implementable	Procedimientos de diseño físico de BD <i>relacionales</i>	
	Convertir el modelo conceptual de la BD en un esquema relacional equivalente		
	Verificar el esquema implementable con los requisitos relacionados		
	Realizar el diseño Físico		

	Establecer los índices de las tablas del diseño implementable Definir los derechos de acceso para cada tipo de usuario Definir las reglas de integridad de la BD		
Diseño de componentes o módulos de SW	Identificar Componentes o módulos Identificar elementos funcionales – propios de la aplicación – implementación de casos de uso Identificar elementos de interfaz U/S Identificar elementos de acceso	UML <i>Components</i>	Definición de componentes o módulos Especificación de Interfaces Arquitectura de Componentes o módulos del sistema

	y manipulación de datos persistentes		
Especificación del diseño	Integrar diagramas de subsistemas, interfaz, arquitectura y componentes o módulos y BD en Documento de Diseño Definir los procedimientos de respaldo, recuperación y seguridad de la BD Realizar las revisiones técnicas de validación con el cliente y los usuarios	UML <i>Components</i>	Documento de Diseño (DD) integrado y validado Procedimientos de administración de la BD

Tabla A.3: Diseño de software.

4. Aprovisionamiento de componentes

Actividades	Tareas	Técnicas y Notaciones	Productos
Instalación de la plataforma de desarrollo	Seleccionar, adquirir y/o preparar la plataforma o infraestructura de software requerida para desarrollar el sistema Instalar la plataforma de desarrollo (servidores web, de aplicaciones, SMBD)	Manuales y procedimientos de instalación de software	Plataforma de desarrollo instalada

Tabla A.4: Aprovisionamiento de componentes.

5. Ensamblaje del sistema de software			
Actividades	Tareas	Técnicas y Notaciones	Productos

Construcción de la Interfaz U/S	Ensamblar la capa de presentación con los componentes o elementos de SW de la interfaz U/S Codificar e integrar los componentes o elementos del lado del cliente Diseñar y Ejecutar las Pruebas de la Interfaz U/S Determinar los aspectos de la interfaz U/S que deben probarse o Realizar prueba de la interfaz U/S Preparar los datos y mecanismos de prueba Preparar el ambiente de pruebas	Técnicas de construcción de software Técnicas y estrategias de pruebas de interfaces gráficas Depuración de errores	Especificaciones de casos de prueba Interfaz U/S probada
--	---	--	--

	Ejecutar las pruebas de la interfaz U/S Depurar los errores encontrados		
Construcción de la BD	Crear la base de datos usando los esquemas implementables diseñados en el proceso anterior y según el SMBD seleccionado Diseñar y Ejecutar las Pruebas de la BD Realizar casos de prueba de la BD Definir los aspectos de la BD que deben probarse Preparar los datos y mecanismos de prueba	Creación de BD relacional Técnicas y estrategias de pruebas de bases de datos Depuración de errores	Especificaciones de casos de prueba Base de datos probada

	Preparar el ambiente de pruebas		
	Ejecutar las pruebas de la BD		
	Depurar los errores encontrados		

Tabla A.5: Ensamblaje del sistema de software.

6. Pruebas del sistema de software			
Actividades	Tareas	Técnicas y Notaciones	Productos
Realización de las Pruebas del Sistema	Definir mecanismos de pruebas Preparar casos de prueba Realizar las pruebas funcionales del sistema (aplicación integrada) o ejecutar las pruebas funcionales	Estrategias de pruebas funcionales y no funcionales	Mecanismos de pruebas Casos de pruebas Especificaciones de casos de prueba Informe de incidentes de prueba

		Realizar las pruebas no funcionales del sistema Ejecutar las pruebas no funcionales Realizar las pruebas de aceptación Ejecutar las pruebas de aceptación Reportar los errores encontrados en las pruebas		
Corrección de errores		Corregir los errores detectados en las pruebas funcionales y no-funcionales Realizar pruebas de regresión para asegurar que las correcciones no introducen nuevos errores	Depuración (<i>debugging</i>)	

Tabla A.6: Pruebas del diseño de software.

Entrega del sistema de software			
Actividades	Tareas	Técnicas y Notaciones	Productos
Instalación de la Aplicación	Desplegar la aplicación en los diferentes servidores de la plataforma de operación; carga inicial de datos (<i>si se requiere</i>) Preparar los datos de carga inicial de la BD Actualizar la BD	Técnicas de migración de datos	BD actualizada
Elaboración de la Documentación	Elaborar los documentos o manuales del producto de SW	Técnicas de elaboración de documentos técnicos	Documentos o manuales de la aplicación

Tabla A.7: Entrega del sistema de software.

Anexo B

Implementación y pruebas del sistema web.

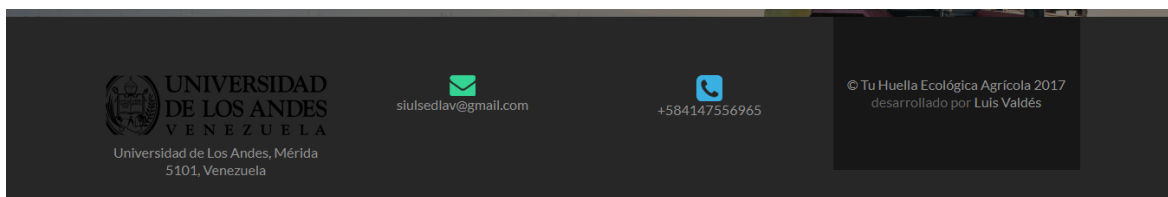


Figura B.1: Pie de página (footer) del portal web.



Figura B.2: Conoce sobre la HE (parte superior).



Figura B.3: Conoce sobre la HE (parte inferior).



Figura B.4: Quiénes somos (parte superior).

HE Agrícola

Inicio Conoce sobre la HE Calcular HE Agrícola Quiénes somos Iniciar Sesión ▾

Olvidaste tu contraseña

Por favor, ingresa la dirección de correo. Recibirás un link para recuperar y crear una nueva contraseña.

Correo Electrónico

GENERAR NUEVA CONTRASEÑA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES VENEZUELA
Universidad de Los Andes, Mérida

siulsedlav@gmail.com

+584147556965

© Tu Huella Ecológica Agrícola 2017
desarrollado por Luis Valdés

Figura B.5: Olvido de contraseña.

HE Agrícola

Inicio Conoce sobre la HE Calcular HE Agrícola Quiénes somos Iniciar Sesión ▾

www.bdigital.ula.ve

Hola! Estas aqui para crear una nueva contraseña.

Crear nueva contraseña.

Nueva contraseña confirmar contraseña

CREAR NUEVA CONTRASEÑA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES VENEZUELA
Universidad de Los Andes, Mérida

siulsedlav@gmail.com

+584147556965

Tu Huella Ecológica Agrícola
desarrollado por Luis Valdés 2017

Figura B.6: Crear nueva contraseña.

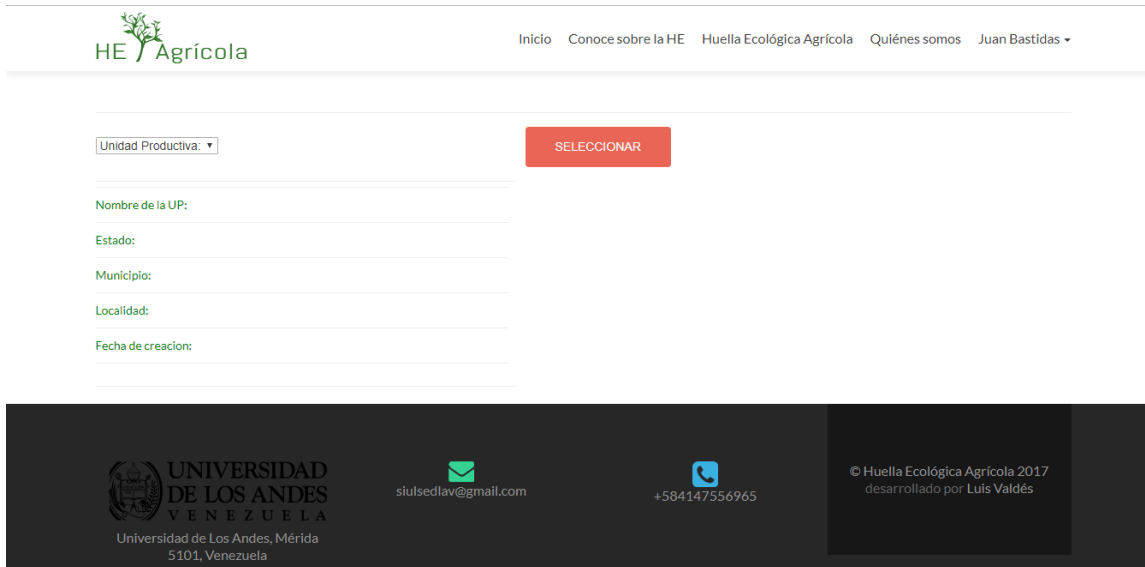


Figura B.7: Ventana seleccionarUP.



Figura B.8: Dato faltante en registro de unidad productiva.