

SISTEMA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ESPECIES VEGETALES A TRAVÉS
DE LA HIDROPONÍA EN EL LABORATORIO DE FISIOLÓGÍA VEGETAL DE LA
UNVIERSIDAD ICESI

VALENTINA RENDON AGUDELO
JUAN DAVID PIEDRAHITA REBELLÓN

Universidad Icesi
Facultad de Ingeniería
Programa de Diseño Industrial
Santiago de Cali
2019

SISTEMA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ESPECIES VEGETALES A TRAVÉS
DE HIDROPONÍA EN EL LABORATORIO DE FISIOLOGÍA VEGETAL DE LA
UNIVERSIDAD ICESI

VALENTINA RENDON AGUDELO
JUAN DAVID PIEDRAHITA REBELLÓN

Proyecto de grado

José Andrés Moncada Msc

Universidad Icesi
Facultad de Ingeniería
Programa de Diseño Industrial
Santiago de Cali
2019

Índice

ÍNDICE	3
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	7
LISTA DE ANEXOS.....	10
GLOSARIO Y ABREVIACIONES	11
ABSTRACT.....	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
FICHA TÉCNICA	5
PROBLEMA	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
<i>ENUNCIADO DEL PROBLEMA</i>	8
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS METODOLÓGICOS.....	11
OBJETIVOS DE DISEÑO	11
VIABILIDAD	11
VIABILIDAD	11
LUGAR O ESPACIO.....	12
TIEMPO.....	12
FINANCIACIÓN.....	12
METODOLOGÍA.....	12
MARCO TEÓRICO	13
HIDROPONÍA	14
VENTAJAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....	15
DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....	15
TIPOS DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS	16
ELEMENTOS QUE COMPONEN UN CULTIVO HIDROPÓNICO.....	16

EXPERIMENTACIÓN CON CULTIVOS SIN SUELO EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE ESPECIES VEGETALES.....	18
ESTERILIZACIÓN.....	18
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	19
APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA	20
BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO	22
INTERACCIÓN.....	23
CONCLUSIONES DEL MARCO TEÓRICO.....	24
<u>TRABAJO DE CAMPO Y RESULTADOS</u>	<u>25</u>
METODOLOGÍA APLICADA	25
RESULTADOS.....	26
ENFOQUE DE SOLUCIÓN	28
MONTAJE.....	30
RECOLECCIÓN DE DATOS	37
<u>DISCUSIÓN</u>	<u>38</u>
<u>DISCUSIÓN Y MARCO CONCEPTUAL.....</u>	<u>40</u>
ENFOQUE DE SOLUCIÓN.....	40
HIPÓTESIS DE DISEÑO	40
DETERMINANTES	40
REQUERIMIENTOS Y PRINCIPIOS	41
PRINCIPIOS DE DISEÑO.....	41
REQUERIMIENTOS DE USO.....	41
REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	42
REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES.....	42
REQUERIMIENTOS TÉCNICO-PRODUCTIVOS	43
REQUERIMIENTOS ECONÓMICOS O DE MERCADO.....	43
REQUERIMIENTOS FORMALES.....	43
REQUERIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN.....	44
REQUERIMIENTOS LEGALES	44
CONCEPTO	44
DETERMINACIÓN ESTÉTICA DEL SISTEMA DE SOLUCIÓN	44
PROMESA DE VALOR	46
PROCESO DE PROPUESTA.....	46
SPRINT 1	48
SPRINT2	50
SPRINT3	52
SPRINT4	53
SPRINT5	56
SPRINT6	59
SPRINT7	64
PROPUESTA.....	65
ASPECTOS DE MERCADO Y MODELO DE NEGOCIO	73
ASPECTOS DE FACTORES HUMANOS.....	77
ASPECTOS PRODUCTIVOS.....	82
ASPECTOS DE COSTOS.....	84

ASPECTOS DE IMPACTO (PESTA) 86

CONCLUSIONES 89

BIBLIOGRAFÍA 91

ANEXOS/APÉNDICES 94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	14
Tabla 2	19
Tabla 3	22
Tabla 4	24
Tabla 5	74
Tabla 6	84
Tabla 7	84
Tabla 8	86
Tabla 9	105

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1</i> Campo de oportunidad en el diseño de sistemas de cultivos hidropónicos. Fotografías por Twenergy. El País e Ikea, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.....	6
<i>Figura 2</i> Etapas del proceso de experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.	27
<i>Figura 3</i> Nivel de impacto de cada etapa, en la experiencia de usuario en el proceso de experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.....	28
<i>Figura 4.</i> Nivel de relevancia de los factores de posible intervención para los usuarios del laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi durante el desarrollo de experimentos con cultivos hidropónicos.	29
<i>Figura 5</i> Equipo para simular la luz solar en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi. En el fondo a la izquierda, un equipo especial para refrigeración, y a la derecha en una silla, unas semillas creciendo dentro de unas cajas Petri.....	31
<i>Figura 6</i> Algunos de los equipos que se encuentran en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi en el área de experimentación.....	32
<i>Figura 7</i> Integrantes del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi en el área de trabajo en escritorio. De izquierda a derecha: Vanessa, Jose, Sandra, Juliana, al fondo y por último, Carolina.....	32
<i>Figura 8</i> Elementos del sistema actual para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi.	34
<i>Figura 9</i> Proceso de montaje de un cultivo hidropónico de 600 plantas, en 8 tanques, en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi realizado por una persona.	35
<i>Figura 10</i> Investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, ubicando una plántula en el soporte de goma EVA, para hacer un cultivo hidropónico.	36
<i>Figura 11.</i> Porcentaje de tiempo invertido por actividad en el montaje de un cultivo hidropónico en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.	37
<i>Figura 12.</i> Porcentaje de mención de los temas en los ejercicios de investigación cualitativa Mapa de empatía, Diagrama de experiencia y Grupo focal.	38
<i>Figura 13</i> Moodboard de inspiración para estética de la solución. De izquierda a derecha y de arriba abajo, fotos por Universidad Icesi en Icesi.edu.co; Ivanov y Zevereva en Behance.net; Kwanjun Ryu en Behance.net; Hyunsoec y Hs2 Studio en Behance.net; Imleedh Ali en Unsplash.com y Chuttersnap en Unsplash.com.	45
<i>Figura 14</i> Moodboard de inspiración para estética de la solución para el componente digital. De izquierda a derecha y de arriba abajo, fotos UI referencia de Evernote; Google calendar aplicación móvil y web; Marina Korotkevich en dribble.com; Jisoo Yun en dribble.com; pantalla de Progress app en joinprogress.com y human interface guidelines en developer.apple.com.	45

<i>Figura 15</i> Propuestas de diseño iniciales para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación en fisiología vegetal de la universidad Icesi.	46
<i>Figura 16</i> Primeras propuestas de diseño para validación con usuarios.	47
<i>Figura 17</i> Prototipo 1 a escala 1:3 de la propuesta de solución de diseño para la realización de cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de fisiología vegetal de la universidad Icesi.	48
<i>Figura 18</i> Investigador del laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi revisando el primer prototipo de la aplicación Himo.	49
<i>Figura 19</i> Juliana Chaura, investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, revisando el primer prototipo de la aplicación móvil Himo.	49
<i>Figura 20</i> Sección de bitácora de apuntes de Juliana Chaura, año 2016 durante la realización de un proyecto en Purdue University, USA.	51
<i>Figura 21</i> Sección de bitácora de apuntes de Juliana Chaura, año 2016 durante la realización de un proyecto en Purdue University, USA.	51
<i>Figura 22</i> Usuario del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi sujetando una plántula de arroz para ubicarla en el prototipo de baja de herramienta de apoyo para el paso de las plántulas a los soportes (elemento en cartón) y prototipo de baja de los soportes flexibles (elemento en color fucsia).	53
<i>Figura 23</i> Vanessa Mejía, investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, ubicando el soporte flexible en la herramienta de apoyo para el montaje de las plántulas en los soportes.	54
<i>Figura 24</i> Prototipo de baja que muestra un fragmento del soporte rígido y cómo quedarían ubicados los soportes flexibles con las plántulas y quede el cultivo por raíz flotante.	55
<i>Figura 25</i> Prototipo de baja del soporte rígido con la simulación de lo que serían los soportes flexibles y la ubicación de una bomba de recirculación de agua y el pH metro.	56
<i>Figura 26</i> Tanque con agua y una bomba sumergible de recirculación de agua a la izquierda y un pH metro a la derecha.	58
<i>Figura 27</i> Sistema dosificador a través de bombas peristálticas con 5 fuentes alimentadores. Obtenido de hcslab.trustpass.alibaba.com	60
<i>Figura 28</i> Prototipo 2 del sistema móvil. Simulación de un puesto de trabajo para la actividad de montaje de las plántulas en los soportes.	61
<i>Figura 29</i> Juliana Chaura, ubicando un soporte flexible en la herramienta dispuesta para ello. A la izquierda, simulada la zona en la que estarían ubicados los diferentes atomizadores.	62
<i>Figura 30</i> Investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, realizando el montaje de una planta en un soporte flexible con el prototipo de puesto de trabajo.	63
<i>Figura 31</i> Prototipo 3 del puesto de trabajo para realizar cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi.	65
<i>Figura 32.</i> Paso 3 de la secuencia de uso de Himo. Elementos autoclavables del sistema.	68
<i>Figura 33.</i> Paso 3 de la secuencia de uso de Himo. Tanques contenedores de los cultivos llenos con agua destilada.	69
<i>Figura 34</i> Paso 4 de la secuencia de uso de Himo. Abastecimiento del puesto de trabajo.	69

<i>Figura 35</i> Algunos de los elementos con los que se puede abastecer el puesto de trabajo Himo.	70
<i>Figura 36</i> Explosión del tanque de nutrientes Himo.	70
<i>Figura 37</i> Paso 5 de la secuencia de uso de Himo. Añadir los nutrientes a los tanques con agua	71
<i>Figura 38</i> Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Montaje de las plántulas.	72
<i>Figura 39</i> Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Ubicación del soporte flexible en la herramienta de apoyo para montaje y simulación de las plántulas.....	73
<i>Figura 40</i> Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Ubicación de los soportes flexibles con las plántulas en los soportes rígidos.	73
<i>Figura 41</i> Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Altura de la zona de trabajo principal.....	78
<i>Figura 42</i> Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Alturas que permite Himo para realizar el montaje de las plántulas.	79
<i>Figura 43</i> Factores humanos des puesto de trabajo Himo. Posibles ubicaciones de los elementos en el puesto de trabajo.	79
<i>Figura 44</i> Factores Humanos Himo. Módulos laterales puesto de trabajo.	80
<i>Figura 45</i> Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Módulos en línea opuestos	80
<i>Figura 46</i> Factores humanos puesto de traajo Himo. Zona de trabajo.....	81
<i>Figura 47</i> Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Inclinaciones del contenedor de nutrientes y la herramienta para el montaje.	82
<i>Figura 48</i> Componentes principales del puesto de trabajo Himo	83
<i>Figura 49</i> Componentes principales de Himo.	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Elementos del sistema actual para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI.....	94
Anexo B. Composición del sistema hidropónico actual del laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI.	95
Anexo C. Otras herramientas usadas en la experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI	96
Anexo D. Equipos utilizados en la realización de cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad ICESI	97
Anexo E. Etapas de un experimento con cultivo hidropónico en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad ICESI.	98
Anexo F. Herramienta What's on your radar? usada en trabajo de campo. Investigación cualitativa.	99
Anexo G. Herramienta Empathy map utilizada en trabajo de campo. Investigación cualitativa.	101
Anexo H. Herramienta Focus group utilizada en trabajo de campo.....	102
Anexo I. Herramienta Diagrama de experiencia utilizada en trabajo de campo...	103
Anexo J. Customer journey map de la actividad Montaje del experimento.....	104
Anexo K. Tiempo invertido en el montaje del cultivo hidropónico por actividad y tarea.	104
Anexo L. Brief de innovación	107

GLOSARIO Y ABREVIACIONES

Accesibilidad: Cualidad de accesible

Accesible: De fácil acceso, trato, comprensión, inteligible.

Actuadores: Dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico.

Agrícola: Perteneciente o relativo a la agricultura o al agricultor.

Agricultura: Conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo o labranza de la tierra.

Algoritmo: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

Análogo:

Antisepsia: Método que consiste en combatir o prevenir los padecimientos infecciosos destruyendo los microbios que los causan.

Antiséptico, ca: Que sirve para la antisepsia.

Asepsia: Ausencia de materia séptica, estado libre de infección. Conjunto de procedimientos científicos aplicados principalmente a la esterilización de materiales.

Autoclavable: Que puede ser esterilizado en un autoclave.

Autoclave: Aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias situados en su interior, por medios diferentes, como vapor, temperatura o radiación.

Automatización: Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.

Bacteria: Organismo microscópico unicelular, carente de núcleo, que se multiplica por división celular sencilla o por esporas. Algunas de cuyas especies descomponen la materia orgánica, mientras que otras producen enfermedades.

Biología: Ciencia que trata los seres vivos considerando su estructura, funcionamiento, evolución, distribución y relaciones.

Botánica: Ciencia que trata los vegetales.

Brief: Documento donde se encuentra por escrito los parámetros necesarios para que un diseñador o un departamento de diseño realice un desarrollo específico.

Caja Petri: Recipiente redondo, de cristal o plástico, con una cubierta de la misma forma que la placa. Se utiliza en microbiología para cultivar células, observar la germinación de semillas o examinar el comportamiento de microorganismos.

Científico, ca: Que se dedica a una o más ciencias. Que tiene que ver con las exigencias de precisión y objetividad propias de la metodología de las ciencias.

Controladores: Programa que permite a una computadora manejar los componentes que tiene instalados.

Convergente: Que converge:

Convergir: Unirse en un punto. Ir acercándose poco a poco uno de otro.

Cosecha: Conjunto de frutos, generalmente de un cultivo, que se recogen de la tierra al llegar a la sazón.

Cualitativo, va: Perteneciente o relativo a la cualidad.

Cuantitativo, va: Perteneciente o relativo a la cantidad.

Cultivo hidropónico: Que se realiza mediante hidroponía.

Cultivo: Cría y explotación de seres vivos con fines científicos, económicos o industriales.

Desinfectar: Quita a algo la infección o la propiedad de causarla, destruyendo los gérmenes nocivos y evitando su desarrollo.

Diseño de medios interactivos: Disciplina que integra el diseño y la tecnología a partir de la creación de productos y servicios digitales.

Diseño industrial: Disciplina orientada a la creación y al desarrollo de productos industriales que sean útiles y estéticos.

Divergente: Que diverge.

Divergir: Ir separándose poco a poco uno de otro.

Dormancia: Periodo del ciclo biológico de un organismo en el que el crecimiento, desarrollo y actividad física se suspenden temporalmente.

Ecosistema: Comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de factores físicos de un mismo ambiente.

Error experimental: Variación de resultados debido a factores externos al experimento.

Especie silvestre: Todos los vegetales, animales, hongos y otros organismos no domesticados que habitan un lugar sin haber sido introducidos por los seres humanos.

Especie vegetal: Conjunto de seres vivos autótrofos de características comunes.

Estéril: Libre de gérmenes patógenos.

Esterilidad: Cualidad de estéril.

Experiencia: Evaluación, juicio y valoración (agradable/desagradable) global, subjetiva y consciente resultado de la interacción usuario-producto, la cual ocurre en un contexto y tiempo determinados.

Experimentar: Hacer operaciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos o principios científicos.

Experimento: Acción y efecto de experimentar.

Factible: Que se puede hacer.

Fertilizante: Que mejora la calidad de la tierra y facilita el crecimiento de las plantas.

Fisiología vegetal: Subdisciplina de la botánica que se encarga del estudio de todas las actividades que estén relacionadas con las plantas, en escala tiempo y tamaño.

Gérmenes: Microorganismo patógeno.

Herbáceo, a: Que tiene la naturaleza o cualidades de la hierba.

Hidroponía: Cultivo de plantas en soluciones acuosas.

Hipótesis: Suposición de algo posible o imposible que se establece previamente como base de una investigación que puede confirmar o negar la validez de aquella.

Huerto: Terreno de corta extensión, generalmente cercado, en que se plantan verduras, legumbres y a veces árboles frutales.

I+D: Investigación y desarrollo.

IES: Institución de educación superior.

In vitro: Producido en el laboratorio por métodos experimentales.

Incertidumbre: Falta de certidumbre.

Inerte: Sin vida.

Insecticida: Que mata insectos.

Insight: Anglicismo que hace referencia a una motivación profunda del consumidor en relación con su comportamiento hacia un sector, marca o producto. Se basa en percepciones, imágenes o experiencias del consumidor.

Invernadero: Recinto en el que se mantienen condiciones ambientales adecuadas para favorecer el cultivo de plantas.

Investigación etnográfica: Estudio directo de personas o grupos durante cierto periodo, utilizando la observación principalmente o las entrevistas para conocer su comportamiento social.

Iteración: Repetición. Proceso de acercamiento a los usuarios para volver a probar si un diseño funciona.

Macronutrientes: Nutriente que suministra la mayor parte de la energía al organismo para su buen funcionamiento y otros elementos necesarios para reparar y construir estructuras orgánicas, promover el crecimiento y regular procesos metabólicos.

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. Etapa en la que se realiza una serie de procesos al cultivo hidropónico con el fin de mantener el experimento en condiciones óptimas.

Medios interactivos: Recursos digitales que permiten a los usuarios interactuar con otras personas o con el medio.

Microorganismo: Organismo unicelular solo visible al microscopio.

Micropipeta: Instrumento de laboratorio empleado para succionar y transferir pequeños volúmenes de líquidos y permitir su manejo en las distancias técnicas analíticas.

Monitorear: Observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías.

Montaje: Combinación de las diversas partes de un todo. Acción y efecto de montar. Etapa en la que se unen diferentes elementos para hacer un cultivo hidropónico.

Muestra: Parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa de él.

Muestreo: Acción de escoger muestras repetitivas de calidad o condiciones medias de un todo.

Nube: Espacio de almacenamiento y procesamiento de datos y archivos ubicados en internet, al que puede acceder el usuario desde cualquier dispositivo.

Nutriente: Sustancia que nutre.

OCDE: Organización para la cooperación del desarrollo económicos

Oxigenación: Acción y efecto de oxigenar u oxigenarse.

pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Plantío: Plantado o que se puede plantar.

Plántula: Planta joven, al poco tiempo de brotar de la semilla.

Procesos metabólicos: (En Plantas) Conjunto de procesos físicos y químicos y de reacciones a las que está sujeta una célula, permitiéndole realizar sus principales actividades como reproducción, crecimiento, mantenimiento de sus estructuras y respuesta a los estímulos que recibe.

Promesa de valor: Expresión concreta del conjunto de beneficios que recibirán los diferentes actores (clientes, usuarios, consumidores) al interactuar con un objeto o acceder a un servicio. Es la declaración de intenciones con la que se comunica breve y claramente para qué sirve lo que se ofrece y por qué es importante para el cliente.

Protocolo: Secuencia detallada de un proceso de actuación científica, técnica, médica, etc.

Prototipo: Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa.

Reactivo, va: Sustancia que se emplea para provocar una reacción química.

Requerimientos: Guía, conjunto de recomendaciones para actual. Condiciones que debería cumplir la solución buscada.

Seguridad alimentaria: Referente a la disponibilidad de alimentos, el acceso de las personas a ellos y el aprovechamiento biológico de los mismos.

Semillero: Sitio donde se guardan y conservan para estudio colecciones de diversas semillas.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Síntesis: Cosa compleja que resulta de reunir distintos elementos que estaban dispersos o separados organizándolos y relacionándolos.

Sistema: Conjunto de cosas relacionadas entre sí que ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Soporte: Apoyo o sostén. Cosa que recibe el peso de otra e impide que esta se tambalee o caiga.

Sustrato: Lugar que sirve de asiento a una planta o un animal fijo.

Tabulación: Expresión de valores, magnitudes, etc., por medio de tablas o cuadros.

Tendencia: Propensión o inclinación en las personas y en las cosas hacia determinados fines.

TIC: Abreviatura de Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

Trabajo de campo: Conjunto de acciones encaminadas a obtener de forma directa datos de las fuentes primarias de información, es decir, de las personas y el lugar y tiempo en que se suscita el conjunto de hechos o acontecimientos de interés para la investigación.

Tratamiento: Proceso de modificación de factores de una unidad experimental y cuyos efectos van a ser medidos o comparados.

Unidad experimental: Elemento (planta, animal u objeto) al que se le modificarán en forma planeada, factores para revisar su respuesta.

UV: Ultravioleta. Dicho de una radiación: Que se encuentra entre el extremo violado del espectro visible y los rayos X, y provoca reacciones químicas de gran repercusión biológica.

Variable: Cada una de las características o cualidades que poseen los individuos de una población.

ABSTRACT

The present work is a research carried out by students of the ICESI University on the process of experimentation in vegetal species through hydroponic crops addressed from the field of industrial design and interactive media design with the aim of improving the experience and increasing productivity of the researchers in the laboratory of plant physiology in the processes of experimentation with hydroponic crops. For this we apply the double diamond methodology that has four stages: discover, define develop and deliver, which allowed us to distinguish the stages of the hydroponics research process that required more time, resources and effort on the part of researchers. To intervene in the increase of productivity and the improvement of the experience of researchers with respect to the most demanding stages. This research developed prototypes through iterative processes to validate our hypotheses, requirements and key concepts, evidenced in the fieldwork, managing to develop an interactive system that offers the possibility of conducting experiments with hydroponics crops in less time and improving the analysis and registration stage of the information collected for each experiment by one or several researchers. This helps researchers use more time creating knowledge and less time performing operational tasks. While we focus on increasing the productivity and experience of researchers in the stages of the process that most need it there are also other stages that require intervention that could be part of another project of degree or postgraduate and doctorate in engineering as scanning and measurement 3d of roots or artificial intelligence that allows to analyze the information registered by the researchers and offer suggestions in the experimentation and identify patterns of study.

Keywords – Hydroponic crops, interactive system, user experience, plant physiology, experiments in hydroponics.

RESUMEN

El presente trabajo es una investigación realizada por estudiantes de la Universidad ICESI sobre el proceso de experimentación en especies vegetales a través de cultivos hidropónicos abordado desde el campo del diseño industrial y del diseño de medios interactivos con el objetivo de mejorar la experiencia e incrementar la productividad de los investigadores en el laboratorio de fisiología vegetal puntualmente en los procesos de experimentación con cultivos hidropónicos. Para ello aplicamos la metodología de doble diamante que cuenta con cuatro etapas: descubrir, definir desarrollar y entregar, que nos permitió distinguir las etapas del proceso de investigación en hidropónicos que requerían mayor cantidad de tiempo, recursos y esfuerzo por parte de los investigadores. Para intervenir en el incremento de la productividad y la mejora de la experiencia de los investigadores con respecto a las etapas más demandantes. Esta investigación desarrollo prototipos mediante procesos iterativos para validar nuestras hipótesis, requerimientos y conceptos claves, evidenciados en el trabajo de campo, logrando desarrollar un sistema interactivo que ofrece la posibilidad de realizar experimentos con cultivos hidropónicos en menor tiempo y mejorando la etapa de análisis y registro de la información recolectada para cada experimento por uno o varios investigadores. Esto contribuye a que los investigadores puedan usar más tiempo creando conocimiento y menos tiempo realizando tareas operativas. Si bien nos centramos en incrementar la productividad y la experiencia de los investigadores en las etapas del proceso que más lo precisan también hay otras etapas que requieren intervención que podrían ser parte de otro proyecto de grado o de posgrados y doctorados en ingeniería como escaneo y medición 3d de raíces o inteligencia artificial que permita analizar la información registrada por los investigadores y ofrecer sugerencias en la experimentación e identificar patrones de estudio.

Palabras clave Cultivos hidropónicos, sistema interactivo, experiencia de usuario, fisiología vegetal, experimentos con hidropónicos.

INTRODUCCIÓN

Si alguna vez han tenido que lavar platos o enhebrar agujas, se habrán dado cuenta de lo tediosas que son estas tareas, la primera, por lo monótona y repetitiva que se vuelve, y la segunda, especialmente, por el esfuerzo visual y la concentración que requiere. Ambas son tareas que desearíamos que fuesen hechas de la forma más rápida posible, pero terminan requiriendo, algunas veces, gran parte de nuestro tiempo. En el presente proyecto no se tratarán ni platos, ni agujas e hilo, pero sí de cómo los usuarios del Laboratorio de investigación en Fisiología Vegetal de la universidad Icesi deben realizar labores similares a estas, cada vez que realizan cultivos hidropónicos y cómo a través del diseño industrial y de medios interactivos, pueden llegar a sentirse más plenos al llevar a cabo esta labor al invertir menos tiempo y esfuerzo.

Un laboratorio o centro de investigación, según Colciencias (2017) se define como una organización que tiene como misión institucional desarrollar investigación básica o aplicada en líneas definidas con un propósito científico específico, a fin de generar conocimiento nuevo y diferenciado al público, contribuyendo así a mejorar la competitividad y el desarrollo tecnológico del país. Por otro lado, la fisiología vegetal es una subdisciplina de la botánica que se encarga de estudiar los procesos metabólicos en las plantas (Avanzamos cosmoagro, 2012). Ésta ha aportado a la generación de información básica y su aplicación al desarrollo agrícola, al incremento de la seguridad alimentaria y la conservación de ecosistemas naturales (Jaramillo Gonzalez, 2010). Es por esto, que la Universidad Icesi cuenta con un equipo altamente capacitado para llevar a cabo sus propios estudios en este campo de la ciencia, haciendo a su vez, de sus biólogos, profesionales integrales.

Los cultivos hidropónicos o en agua, se han convertido en una herramienta de gran utilidad en la investigación de especies vegetales, ya que, estos se ven favorecidos por el alto grado de control que permite tener sobre las condiciones de crecimiento, tales como nivel de pH, grado de temperatura, cantidad y tipo de nutrientes, cantidad de oxígeno, entre otros. Además, brindan la posibilidad de ajustar fácilmente su tamaño y cómo se desarrollan las diferentes etapas de crecimiento de las plantas, llevando fácilmente un seguimiento y registro para realizar análisis paralelos y posteriores. Desafortunadamente, debido a la ausencia de un diseño especial para realizar plantíos en agua en estos contextos, el sistema que actualmente utilizan los investigadores requiere de una alta inversión de tiempo y esfuerzo por parte de los usuarios durante la ejecución del montaje y mantenimiento del experimento, lo que genera mayor agotamiento físico y psicológico al equipo de trabajo, retrasos en la entrega de resultados y desperdicio de recursos. Además, no existe una herramienta digital para realizar el estudio y análisis de las plantas en este contexto, es decir que, actualmente, los

científicos lo realizan de forma análoga en diferentes fuentes, lo que genera un índice alto de probabilidad de error en los datos recolectados.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el propósito de este proyecto de investigación es hacer más efectivos, amigables y confiables estadísticamente los experimentos con cultivos hidropónicos vinculados al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Icesi, a partir de la centralización del trabajo y la creación de herramientas que favorezcan la realización de las tareas; además de la disminución de la incertidumbre y mejora de la accesibilidad a la información, través de la aplicación del diseño industrial y de interacción.

Para esto, se realiza trabajo de campo y se consulta la teoría existente, a fin de entender a profundidad las actividades realizadas durante el proceso de montaje, mantenimiento y análisis de un experimento con cultivos hidropónicos, comprender los requerimientos que implica el contexto, los deseos de los usuarios y dominar las diferentes interacciones entre los elementos del sistema. Posteriormente se plantean propuestas de diseño integrales que son validadas con los usuarios en el contexto de uso real, hasta llegar a Himo, sistema para la experimentación con especies vegetales a través de cultivos hidropónicos. Esta comprende una plataforma digital y un puesto móvil de trabajo, a través de los cuáles se alcanza la promesa de valor anteriormente mencionada.

Es importante aclarar, que el proyecto tiene como enfoque las actividades de montaje, mantenimiento y análisis del cultivo al ser éstas las que mayor impacto negativo tienen sobre los usuarios, pues representan la oportunidad más grande de optimización a través del diseño industrial y de interacción. A su vez, la intervención se ha dirigido a las labores que requieren atención con más urgencia desde la experiencia de usuario, debido a los alcances temporales del proyecto. Por esto, quedan abiertas otras posibilidades de intervención futuras en actividades como la optimización de la medición de partes de las plantas, desarrollo de sistema para abastecimiento del agua a los tanques de cultivo, desarrollo de sistemas para la oxigenación o la recirculación del agua de forma estéril.

FICHA TÉCNICA

Problema

Planteamiento del problema

Una de las formas en las que se pueden clasificar las soluciones de diseño realizadas alrededor de la hidroponía en función del presente proyecto de investigación, es en base a su tamaño en cantidad de plantas y el grado de control que este permite sobre las condiciones del cultivo, tales como nivel de esterilidad, pH, especificaciones de los nutrientes, intensidad y frecuencia de luz, humedad, entre otros. La combinación de estos factores responde al campo de aplicación al que se dirige la herramienta. Considerando esto, se encuentran los sistemas de producción de alta tecnología, pero de bajo control de las condiciones, para los cuales se requiere no solo una fuerte inversión de capital financiero, sino también un espacio propio de fábrica, por lo cual es aplicado exitosamente en países desarrollados (Intagri, 2017). Similar a este en tamaño, pero de mayor nivel de control están los invernaderos hidropónicos estériles, los cuales pueden tener capacidad para 10 millones de plantas y a su vez poseer aire estéril gracias al aislamiento total del exterior. Estos son especializados tanto para la comercialización como para la realización de ensayos I+D agrícola, como es el caso del grupo alimentario Citrus el cual invirtió 1,3 millones de euros en su centro de innovación agronómica. (Vázquez, 2017) A diferencia de estos dos en tamaño, se han desarrollado una gran variedad de formatos para la realización de huertos hidropónicos caseros hasta ser tendencia, ya que con estos los consumidores pueden cultivar sus alimentos en casa incluso desde sus terrazas o balcones en los centros de las ciudades, optimizando recursos y empleando menos fertilizantes. Las oportunidades de control de los factores que estos permiten y son de valor a los usuarios, son los relacionados a la luz y los fertilizantes. (Grijota, 2017) En contraste con el uso de estos cultivos pequeños en agua en laboratorios de experimentación científica, el componente sobre el que los investigadores ejercen mayor seguimiento es el de los nutrientes, pues desean conocer las reacciones de los vegetales ante la presencia de estos, por lo que también se hace indispensable el control de la esterilidad en el ecosistema, pues la presencia de bacterias genera reacciones indeseadas en la planta y afecta el análisis de esta. (Nguyen, McInturf, & Mendoza-Cózatl, 2016) Otra de las diferencias entre estos dos últimos, es que para el primero existen tanto desarrollos caseros como de diseño que cubren las necesidades y atienden los deseos de los ciudadanos que desean producir sus alimentos en casa, en cambio, para el segundo solo hay desarrollos caseros que se adaptan a algunas necesidades pero dejan otros factores al descubierto, lo que no impide los estudios realizados, pero tampoco los optimiza y les brinda un porcentaje mayor de credibilidad en los resultados obtenidos.



Figura 1 Campo de oportunidad en el diseño de sistemas de cultivos hidropónicos. Fotografías por Twenergy, El País e Ikea, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

También desde el punto de vista de análisis y registro, los elementos usados por los investigadores son bitácoras personales que utilizan para llevar el registro de los datos cuantitativos y cualitativos que observen del experimento, si hay varios investigadores involucrados en el mismo experimento unificar esta información y tener acceso a esta se convierte en una tarea tediosa además que esta información se debe digitalizar.

Delimitación

El conjunto de elementos que son utilizados para la realización de cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología vegetal de Icesi es efectivo en el control de los nutrientes y el nivel de esterilidad del ecosistema, pues los primeros son añadidos con micropipetas y todos los elementos actualmente esterilizables (véase Anexo A). La principal inconformidad de los usuarios con este sistema es que los procesos de esterilización son manuales y esto implica una gran inversión

de tiempo por parte de los científicos en labores rutinarias y extensas en las etapas (véase Anexo B y Anexo C) del montaje y el mantenimiento de este.¹

Tomando como referencia un experimento realizado por un solo investigador, que tiene una duración de 54 días y tiene 600 plantas en estudio, el montaje se realiza una vez al inicio del proceso y el mantenimiento 10 veces durante el mismo, para mantener el agua oxigenada, más la sesión de desecho en la que antes de guardar los elementos se dejan completamente esterilizados. En el primer momento, se realizan un total de 36 actividades de las cuales 18 son parte del proceso de esterilización, se ven representadas en 3,6 horas de trabajo solo preparando los tanques, las tapas y los soportes. En el segundo momento, los soportes se mantienen y se realiza el cambio de los tanques, por lo que son solo 12 actividades que emplean un acumulado de 2,4 horas. Por otro lado, los soportes también deben prepararse manualmente, lo que toma 3,9 horas haciendo las 600 muescas de los 8 soportes para los tanques requeridos, además estos no son reciclables. Respecto a la adición de los nutrientes al agua es una sola actividad a la que se le dedican 2 horas cada vez que se realiza cambio de agua. Y, por último, la recolección de datos se hace de forma análoga con papel y lápiz, posteriormente, estos se pasan a formatos digitales, lo que requiere de 4 horas más el tiempo de tabulación, análisis y síntesis.

En total durante un experimento de características mencionadas anteriormente, el investigador encargado emplea 42,1 horas solamente realizando procesos de esterilización, 3,9 horas haciendo 600 muescas para los soportes y 20 horas añadiendo soluciones.

Paralelo a esto, cada tanque para 75 plantas requiere el uso de 8 litro de agua, dando un gasto total de 640 litros al final del experimento.

En el momento de juntar la información recolectada del experimento se pueden tomar un día completo de jornada laboral digitalizado la información repartida en las diferentes bitácoras y dependiendo de cuál sea el objeto de estudio del experimento en el caso que se requiera medir las raíces también se va a necesitar de un día completo entre 2 investigadores para este proceso, midiendo y registrando los datos.

Consecuencias

En consecuencia, el investigador de cabecera en el experimento emplea 8,25 jornadas laborales enteras de 8 horas realizando labores operativas que podrían automatizarse o ser hechas por una persona con conocimientos básicos, como en el caso de las muescas para los soportes. Así mismo, podrían ser 8,25 jornadas

¹ En el mantenimiento del cultivo se realiza cada tres días. Implica realizar los mismos procedimientos de esterilización el montaje, exceptuando el del soporte de las plantas.

que los profesionales de planta pueden emplear para avanzar sus proyectos y generar resultados de los procesos investigativos.

Además, hacer el mantenimiento del cultivo cada 3 días para mantenerlo oxigenado y sin contaminación, implica una cantidad muy alta de agua, la cual, el 50% se puede reutilizar al añadirla a otras plantas, pero los otros 320 litros es un desecho especial, aunque esto puede variar de acuerdo con la naturaleza del experimento.

El realizar la recolección de los datos del cultivo de forma manual no solo implica gasto de papeles, sino que genera un monitoreo centralizado del experimento dentro del laboratorio y solo puede ser utilizado por una persona al tiempo, aunque en la realidad pueden ser de 1 a 5 los usuarios que registran sus observaciones a lo largo del proyecto.

Por último, todo esto genera un impacto negativo en los factores emocionales y motivacionales de los investigadores al generar la sensación de frustración por realizar estas actividades rutinarias y ver el desperdicio de recursos que para ellos y para la sociedad son muy valiosos.

Enunciado del problema

De acuerdo con lo anterior, ¿cómo a través del diseño industrial y de medios interactivos se puede generar un sistema para la experimentación con especies vegetales a través de cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi?

Preguntas de investigación

- ¿Cómo funciona el actual sistema para hacer cultivos hidropónicos del Laboratorio de investigación de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi?
- ¿Cuáles son los riesgos, problemas y oportunidades de intervención en diseño que genera el actual sistema para hacer cultivos hidropónicos del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi?
- ¿Cuáles son los ideales de función e interacción que tienen los usuarios respecto a la experiencia de uso de un sistema para hacer cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi?
- ¿Cuáles son los factores con mayor impacto negativo en los usuarios del Laboratorio de investigación de la universidad Icesi durante la experimentación con cultivos hidropónicos?

- ¿Cuáles son las actividades que mayor motivación generan a los científicos del Laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi durante los proyectos de investigación con cultivos hidropónicos?
- ¿Cuáles son los hábitos e ideales de interacción entre los usuarios del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi y entre ellos y el sistema?
- ¿Cuáles son los rangos que debe permitir el sistema para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi para que se ajuste al diseño de cada uno de los experimentos?
- ¿Cómo se pueden disponer los elementos del cultivo en un sistema integral que se ajuste a los requerimientos del Laboratorio de investigación y a su vez a los deseos de los científicos?
- ¿Cómo puede el sistema potencializar las interacciones entre elementos, usuarios y contexto?

Hipótesis de la investigación

Al implementar el diseño de la interacción al sistema y conectar de forma virtual a los integrantes del equipo de investigación con el cultivo, los científicos podrán tomar decisiones más oportunas respecto al desarrollo del experimento y el proyecto de investigación, permitiendo al mismo tiempo llevar un registro detallado de los datos de los experimentos realizados, dando lugar a la mejora de las prácticas de laboratorio y los procesos empleados actualmente.

Al integrar los elementos del sistema, se hace más cómodo para los investigadores el proceso de montaje y mantenimiento de los cultivos hidropónicos, pues se agiliza el proceso, ayudando a los científicos a generar resultados de sus investigaciones en menor tiempo y tener una mejor experiencia laboral.

Justificación

Como se mencionó anteriormente en los antecedentes del proyecto, los sistemas para realizar cultivos hidropónicos se encuentran enfocados a áreas de producción comercial a gran escala y a la alimentación de grupos poblacionales pequeños y debido a esto los investigadores han desarrollado diferentes soluciones a su necesidad de utilizar estos cultivos como herramienta de investigación, pero ya que sus conocimientos en desarrollo de producto son limitadas, estos no alcanzan a tener las características que los mismos usuarios desearían que tuvieran. Por lo tanto, los conocimientos de diseño industrial para la creación de nuevas herramientas, utilización de diferentes procesos de producción y materiales en los elementos del sistema, pueden aportar valor significativamente a la experiencia de

los usuarios, al igual que el entendimiento a profundidad de la experiencia del usuario, diseño de la información e interacción desde el diseño de medios interactivos.

Añadiendo a esto, el laboratorio de investigación de la universidad Icesi posee características que determinan un diseño especial, a diferencia de los invernaderos estériles hidropónicos. Entre estas no solamente están la cantidad de plantas que se van a empelar, sino también la distribución del espacio de trabajo, ya que en el contexto del presente proyecto no se cuenta con una zona de un solo piso de uso exclusivo para realizar cultivos hidropónicos, sino que se encuentra dividido por actividades a realizar y a su vez, estas están en diferentes pisos, ya que el uso de los elementos es compartido con otros equipos de investigación. Además, en los grandes cultivos estériles para investigación, se pretende automatizar al máximo nivel, lo que no está relacionado con los objetivos del equipo de trabajo del laboratorio de Fisiología vegetal en Icesi, por un lado, por los altos costos de estos entornos y, por otro lado, porque se encuentra dentro de un ámbito académico, en el que se pretende generar conocimiento brindando educación a los integrantes de la comunidad universitaria.

De este desarrollo se beneficiarán inicialmente, alrededor de 17 investigadores, la comunidad universitaria y científica. Facilitará los procedimientos y les brindará mayor exactitud en sus resultados. Simultáneamente, el sistema aportará de forma indirecta al aprovechamiento de suelos que han sido deforestados y a que diferentes comunidades sean provistas de alimentos, pues con este se realizan actualmente experimentos que buscan hacer que especies silvestres de arroz, descubiertas recientemente, que son intolerantes al aluminio, sean aptas para ser cultivadas en los terrenos anteriormente mencionados y a la realización de proyectos similares. Por último, el entorno en estudio no es el único con esta necesidad, por lo que el diseño podría ofertarse a diferentes laboratorios realizando los ajustes pertinentes y así tener un mayor impacto para la comunidad científica, académica, agrícola, de diseño e industrial.

Objetivos

Objetivo general

Generar un sistema para la experimentación con especies vegetales a través de cultivos hidropónicos en el Laboratorio de investigación en Fisiología Vegetal de la universidad Icesi a través del diseño industrial y de interacción para reducir el tiempo invertido por los investigadores en tareas operativas y el análisis del proyecto.

Objetivos metodológicos

- Identificar las oportunidades de diseño industrial y de interacción en toda la experiencia alrededor del uso de sistemas para cultivos hidropónicos en proyectos de investigación en el Laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi.
- Dirigir la realización de un nuevo sistema para la elaboración de cultivos hidropónicos para proyectos de investigación en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi hacia la solución de las necesidades con mayor relevancia e impacto negativo en los usuarios.
- Comprobar las hipótesis de investigación planteadas a través de prototipos validados con los científicos del Laboratorio de investigación de Fisiología vegetal de la universidad Icesi.

Objetivos de diseño

- Hacer un 65% más rápido el proceso de montaje y mantenimiento de los cultivos hidropónicos que realizan los investigadores del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Icesi, antes de junio de 2019.
- Hacer un 65% más rápido el proceso de recolección de datos de...
- Disminuir la incertidumbre en un 10% mediante acciones informadas desde el sistema a los investigadores sobre las condiciones del cultivo en términos de PH, Temperatura y humedad.

Viabilidad

Viabilidad

La hidroponía no es un tema novedoso, de hecho, es anterior al cultivo en tierra. Según la historia, el primer cultivo hidropónico del que se tiene conocimiento es el que realizó el rey Nabucodonosor II en Babilonia hacia el siglo VI A.C. Como menciona Salazar (2001) y Grijota (2017), actualmente este tipo de prácticas se han vuelto tendencia y se suele pensar en alta tecnología al pensar en ellos. Por lo que desde diferentes campos se están realizando publicaciones teóricas y evidencias prácticas de ingeniería, diseño y procesos, acerca de la implementación de este tipo de cultivos tanto para la producción de alimentos como para la investigación científica; por lo que se cuenta con suficiente material teórico para llevar a cabo el proyecto de investigación y diseño. Además, este se llevará a cabo en la misma institución, la universidad Icesi, a la cual pertenece el equipo de usuarios claves para el desarrollo de este, lo que garantiza la

colaboración en procesos de trabajo de campo y fácil acceso a la información con profesionales en el tema.

Lugar o espacio

El proyecto es desarrollado con apoyo del laboratorio de investigación en fisiología vegetal de la universidad Icesi ubicado en el edificio L, a la cual pertenece el equipo de usuarios claves para el desarrollo de este proyecto de grado, lo que garantiza la colaboración en procesos de investigación y acceso a la información con profesionales en el tema.

Tiempo

El alcance temporal del proyecto es de 8 meses, de acuerdo con los estatutos académicos establecidos por parte de la universidad Icesi, debido a esto, se descartó la intervención en algunas necesidades con posibilidad de intervención, pues significaba un desarrollo fuera de estos límites de tiempo, teniendo en cuenta, además, que el trabajo es desarrollado únicamente por dos estudiantes y ambos con experticias diferentes, lo que significa que el trabajo en cada área debe ser proporcional a esta capacidad y límites humanos, pues, aunque los campos se encuentran en cierto punto del desarrollo de la solución de diseño, gran parte de este es individual.

Financiación

Finalmente, respecto al alcance económico, el departamento de Biología de la universidad Icesi, no solo está interesado en apoyar el proceso investigativo y de diseño, sino también en su implementación, por lo que está dispuesta a financiar el proyecto en su producción final o participar en concursos en los que han participado anteriormente y han salido favorecidos, con los que se logre obtener el dinero necesario para llevarlo a la realidad en poco tiempo.

Metodología

La metodología de investigación y desarrollo empleada es *El doble diamante*, la cual consta de cuatro etapas: Descubrir, Definir, Desarrollar y Entregar. De estas, la primera y la tercera se caracterizan por el empleo de pensamiento divergente, y a diferencia, las dos restantes están basadas en el pensamiento convergente. (de Benito, 2015)

Primero, en Descubrir se realiza un análisis completo y detallado del entorno, los usuarios y el producto, es decir las herramientas actualmente utilizadas para realizar cultivos hidropónicos, y las interacciones entre estos. Se analiza y describe la actividad en estudio, que es la realización de experimentos con cultivos hidropónicos, se definen las etapas, procesos y se enlistan los artefactos utilizados, los actores involucrados, los lugares frecuentados, la terminología empleada, los recursos requeridos y los aspectos para profundizar en investigación.

Segundo, en Definir, en base a la información colectada en la fase anterior, se realiza un análisis de riesgos, problemas y oportunidades de intervención por cada etapa del experimento y en conjunto con ejercicios de investigación cualitativa, cuantitativa, etnográfica y participativa se hace la definición de las necesidades que pretende cubrir el presente proyecto. Se plantea la base conceptual que guía el proyecto. Planteamientos como insights, principios y concepto hacen parte del resultado de esta etapa. El Brief de diseño es dicha guía. (véase Anexo L)

Tercero, en Desarrollar, se complementa la investigación con trabajo de campo y consulta a autores centrado en las etapas y necesidades seleccionadas en la fase anterior. De este proceso resulta una ruta clara para el desarrollo de la propuesta de diseño que involucra determinantes, requerimientos y necesidades claras a suplir con el sistema solución. Además, se consideran los aportes realizados por los usuarios de los deseos o ideas de solución que ellos tienen para aportar. Posteriormente, se realiza el proceso creativo pertinente para la formulación de la propuesta, iniciando con ideas, seguido por ilustración de estas y terminado con modelos físicos. Todos los anteriores son validados con actores involucrados.

Finalmente, en Entregar se ha definido la propuesta en su totalidad, incluyendo factores productivos y de mercado. Se realizan los prototipos finales pertinentes para validar la funcionalidad e impacto de la solución en el contexto real, acercándose en la mayor medida posible a la realidad.

MARCO TEÓRICO

La investigación teórica se realiza como se menciona en la metodología, en lo referente a todas las etapas del experimento con cultivo hidropónico, seguidamente con la selección del enfoque esta se depura para concretar las cuatro categorías pilares para el desarrollo de la presente investigación. El primero es Hidroponía, el cual abarca su definición, características, elementos y recursos esenciales y uso en experimentación con especies vegetales. El segundo es Experimentación en laboratorios de investigación en el campo de la fisiología vegetal; dentro de éste se incluyen procedimientos realizados por los

investigadores, la metodología de investigación empleada, la función de la estadística y las buenas prácticas de laboratorio. Por último, se encuentra la Interacción en el cual se plantean tendencias y beneficios de la implementación de tecnología y diseño de interacción frente a el estudio análogo.

Hidroponía

En definición, el cultivo en hidroponía es una modalidad en el manejo de plantas que permite su cultivo sin suelo. Esta técnica permite diseñar estructuras simples y/o complejas, favoreciendo las condiciones ambientales idóneas para producir cualquier planta de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, como balcones o azoteas, ayudando a tener las condiciones ideales para su crecimiento, tales como luz, temperatura, agua y nutrientes (Hydro environment, 2018).

Tabla 1

Características de los cultivos en tierra en comparación con los cultivos hidropónicos.

Cultivos en tierra	Cultivos hidropónicos
Los suelos empobrecen y pierden nutrientes con las cosechas repetidas	El medio es controlado en relación con su contenido en nutrientes que se reponen
Pierden la estructura y sus propiedades (aireación-drenaje) con los continuos cultivos y por la escasez de materia orgánica.	El medio se mantiene controlado en sus características (drenaje, aireación) y se reorganiza nuevamente.
Los suelos deben esterilizarse por la flora microbiana patógena.	No existen problemas respecto a la flora microbiana patógena.
Poco costo en relación al inicio del cultivo.	Elevados costos de instalación al inicio del cultivo.
Mucho costo de mano de obra en puntos críticos del ciclo vegetal: cosecha, terapicos, desmalezados.	Mano de obra escasa, bajo costo en desinfecciones.
Baja a regular densidad de cultivo.	Alta densidad de cultivo e incremento de las cosechas.
Pérdidas de fertilizantes por lixiviación y lavado del suelo	Utilización eficiente de los fertilizantes.
Los cultivos deben ser en suelos productivos y ricos, porque los pobres dan pérdidas. La fertilidad del suelo se pierde por las malas prácticas.	El medio se elige y se renueva cuando es necesario, y se mantiene el nivel de nutrientes
El riego es fundamental, porque se debe evitar el estrés hídrico.	No hay estrés hídrico.
Las plagas y las enfermedades pueden ser controladas al comienzo del ataque con agroquímicos para hongos, bacterias, virus e insectos, pero se deben destruir las plantas afectadas.	Las plagas y las enfermedades pueden ser controladas preventivamente. Si se dan ataques fuertes del patógeno, se debe desechar todo el cultivo, dado que el flujo circulante de nutrientes retorna al inicio en forma continua y contagio es seguro.

Nota. Recuperado de Hidroponía Rosario. (2015)

Ventajas de los cultivos hidropónicos

Como se menciona en el gráfico 1, las características de los cultivos hidropónicos representan ventajas frente los cultivos en suelo. Algunas de estas que a su vez soportan las razones de uso por parte de investigadores en sus proyectos en fisiología vegetal según Beltrano y Giménez (2015), son las siguientes:

- Reducción de costos de producción.
- Independencia de los fenómenos meteorológicos.
- Requieren de menos espacio, pues permite una mayor concentración de plantas por metro cuadrado.
- Ahorro de agua.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- Se evita la maquinaria agrícola.
- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Mayor precocidad de los cultivos, lo que hace que brinde la posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta al año.
- Alto porcentaje de automatización.
- Existe un control sobre la nutrición vegetal gracias al uso de soluciones nutritivas; permitiendo obtener un cultivo estandarizado, de mejor tamaño y calidad.

Estas características son cruciales para el desarrollo de investigaciones en el Laboratorio de Fisiología vegetal de Icesi, ya que este no posee un espacio exclusivo y amplio para la realización de estos, y por su naturaleza experimental, deben ser fácilmente replicables. De acuerdo con esto, se busca el mayor ahorro posible en los recursos empleados y viabilidad temporal, para obtener resultados en el menor tiempo posible. Además, al requerir ser estadísticamente representativos, el que se pueda tener mayores unidades en menos espacio, es muy beneficioso.

Desventajas de los cultivos hidropónicos

Algunas desventajas que podría significar el empleo de este tipo de cultivos son la inversión inicial requerida para realizar el montaje del cultivo, si se habla de adquirir un sistema ya existente que permita tener alto grado de control. Sin embargo, estos se pueden lograr con elementos caseros de muy bajo costo, con una calidad en control más baja. Otro requerimiento que podría ser una desventaja es el nivel de conocimiento que debe tener quien cultiva y a pesar de todo, estos son fáciles de adquirir para un contexto casero.

Tipos de cultivos hidropónicos

El método de cultivo sin suelo más fácil de identificar es el cultivo en agua, pero bajo este mismo concepto también se incluyen otros tipos de cultivos hidropónicos. Una de las clasificaciones de los sistemas es de acuerdo con el medio utilizado para el crecimiento de las raíces, el cual se encuentra segmentado en tres grupos: cultivo en agua con solución nutritiva, cultivo en aire con aspersión de agua y cultivo en sustrato con solución nutritiva (Intagri, 2017). Las dos primeras modalidades son empleadas en el Laboratorio de Fisiología vegetal para diferentes proyectos y cada una de ellas requiere un sistema especial. En este caso, el tipo de hidroponía en estudio es la de **cultivo en agua con solución nutritiva**.

Elementos que componen un cultivo hidropónico

Según RicardoMC de Agrotterra (2013), los elementos esenciales para el montaje de un cultivo hidropónico con solución nutritiva son la localización, el material vegetal, la solución nutritiva, el sustrato, agua, drenajes y los contenedores y medidores necesarios.

Una localización óptima para realizar el cultivo hidropónico debe contar con las siguientes condiciones:

- Permitir la exposición a la luz solar o artificial simuladora de luz solar.
- No poseer elementos que puedan generar sombra a las plantas.
- Estar protegido de las condiciones climáticas adversas.
- Estar provisto de corriente eléctrica para tener un adecuado control de los factores ambientales influyentes, tales como temperatura, humedad, ventilación, entre otros.

El material vegetal que puede ser utilizado en este tipo de cultivos es muy diverso, pero existen dos métodos de siembras de acuerdo con el tipo de planta, la primera es la siembra directa y la segunda es por trasplante, los cuáles hacen referencia a si la semilla puede crecer o no directamente en el cultivo o si necesita un desarrollo previo en semilleros, que en el caso del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi, son cajas Petri esterilizadas.

En cuanto al sustrato, que es el medio donde se procede para el desarrollo de las especies a plantar en el cultivo y se caracterizan por ser inertes, también existen dos opciones, la primera son los sustratos sólidos dentro de los cuáles también hay numerosos tipos desde las categorías de orgánicos e inorgánicos. La segunda opción es *Raíz flotante*, de modo que no se utiliza ningún sustrato sólido, sino que

se sumergen las raíces de las plantas en una solución nutritiva. Este último método requiere de la oxigenación de las raíces y la solución de acuerdo con el volumen del contenedor.

Respecto a la solución nutritiva, esta dependerá del tipo de cultivo que se vaya a implementar y del sustrato que se maneje, pero en general debe hacer un aporte de 16 elementos esenciales para que el cultivo tenga un desarrollo adecuado. De estos los que son indispensable calcular son los macronutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg), ya que los micronutrientes se proporcionan con preparados comerciales.

El agua de riego es uno de los elementos que puede condicionar la cantidad y calidad de la cosecha. Aunque los cultivos hidropónicos pueden llegar a realizar incluso con agua de mar, los tipos de agua utilizados en laboratorios son *agua Tipo 1, 2, 3 y 4*. El agua Tipo 1 y Tipo 2 son las empleadas en el Laboratorio de investigación de la Universidad Icesi. La primera, es usada en procedimientos que requieren de máxima exactitud y precisión. Esta es pasada por procesos de destilación y esterilización. El Agua Tipo 2 es recomendada para la mayoría de las pruebas analíticas y generales de laboratorio. Esta es preparada únicamente por destilación (Valdivia Medina, Pedro Valdés, & Laurel Gómez, 2010) y es la que se emplea en los cultivos hidropónicos, pues los usuarios en el pasado emplearon agua tipo 1 y encontraron que esta creaba un ambiente óptimo para el crecimiento de bacterias.

Por otro lado, los contenedores son el lugar donde se ubica el sustrato, en caso de que lo haya. Estos se pueden construir, pero el mercado ofrece mesas de cultivo que facilitan las tareas de limpieza, revisión de las plantas y el manejo del cultivo en la aplicación de la solución nutritiva. En el caso del Laboratorio de Fisiología Vegetal, debido a la naturaleza experimental, los contenedores deben facilitar el proceso de muestreo, de modo que ciertos grupos de unidades muestrales puedan tener un manejo diferente al de otros. Es por eso, que los sistemas actuales que ofrece el mercado en el que todas las plantas se abastecen de la misma fuente de agua y nutrientes, no son funcionales para este contexto.

Por último, en la instalación hidropónica se requieren medidores para controlar que la solución posee las características adecuadas. Factores como el nivel de oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura deben ser monitoreados constantemente.

Experimentación con cultivos sin suelo en proyectos de investigación de especies vegetales

En palabras de Beltrano y Giménez (2015) un cultivo hidropónico realizado en un área confinada y climatizada es un sistema altamente repetible, en consecuencia, se ha constituido en unas herramientas valiosas para la investigación y la enseñanza. A su vez, la utilización de este tipo de sistemas en estos espacios trae consigo nuevos requerimientos y por ende procesos que lo diferencian de los cultivos sin suelo, haciéndolos ser casi una combinación entre cultivo en agua y cultivo in vitro. La expresión cultivo in vitro de plantas, significa cultivar plantas dentro de un frasco de vidrio en un ambiente artificial. Esta forma de cultivar las plantas tiene dos características fundamentales: el control de los factores que afectan el crecimiento del material biológico y la asepsia (Castillo Alicia, 2004) y, como se explicó anteriormente, los cultivos hidropónicos son ideales para el estudio de las raíces de las plantas.

Debido a la necesidad de control de los factores que afectan el crecimiento del material biológico, se emplean sensores de riego, ya que estos se ajustan a las características del sustrato midiendo el estado hídrico y en caso de la raíz flotante, lo hace en función del estrés hídrico de la planta (MC, 2013), pues la heterogeneidad que presentan los suelos podría agregar un nivel adicional de complejidad en los experimentos. Además, se utilizan localidades con iluminación artificial que permita programar las horas de luz y de sombra conforme a las especificaciones del diseño experimental y se utilizan contenedores separados para asegurar un buen proceso de muestreo. Respecto al uso de cultivo sin suelo con raíces flotantes, es a causa de que cuando las plantas se extraen del suelo, el tejido de la raíz a menudo se corta mecánicamente, provocando la pérdida de tejido o daño, especialmente para estructuras de raíces finas, por el contrario, este tipo de sistemas hidropónicos permiten una separación menos invasiva de los tejidos de las raíces y los brotes. (Nguyen, McInturf, & Mendoza-Cózatl, 2016). Finalmente, respecto a la necesidad de asepsia en el cultivo, esta se da, ya que se analizan las reacciones de la planta ante elementos tóxicos y para tener mayor precisión en los resultados, se eliminan todo tipo de gérmenes o bacterias que puedan generar comportamientos distintos. Para esto, se realizan procesos de esterilización y se utiliza agua Tipo 1.

Esterilización

La esterilización es la destrucción de las formas de vida microbianas, “esta se consigue generalmente por métodos físicos y excepcionalmente por la aplicación de compuestos químicos como el óxido de etileno, formaldehído o glutaraldehído” (Pérez-Uz, Silóniz, Torralba, & Vázquez, 2011). Entre los métodos físicos más comunes está la aplicación de calor húmedo o seco, la filtración o las radiaciones.

Por otra parte, la desinfección es otro proceso que se realiza generalmente mediante agentes químicos que pueden ser desinfectantes o antisépticos esto dependiendo del uso práctico que tengan. Los antisépticos deben ser compatibles con los tejidos biológicos, pues se aplicarán en la superficie corporal (Pérez-Uz, Silóniz, Torralba, & Vázquez, 2011). Este procedimiento de esterilizar, dependiendo del propósito, puede ser preparativa o final. La esterilización esto depende de la letalidad que se quiera manejar, en el caso de la esterilización preparativa es la que se realiza para mantener libre de microorganismos el material que será utilizado antes de empezar el experimento por ejemplo agar, material que es esterilizado en sí mismo o durante el proceso de cultivo. En cambio, la esterilización final es más drástica tiene como único fin destruir los microorganismos con los que se ha estado trabajando por ejemplo la esterilización de tanques de cultivo y material reutilizable de experimentos como contenedores utensilios, etc. En el primer caso, la elección del proceso de esterilización se debe adecuar para preservar las características de los diversos materiales o medios a esterilizar, pues algunos pueden ser susceptibles de ser dañados o alterados, durante los procesos de esterilización, en cambio, en la esterilización final no hay consideración alguna, ni la posible alteración de materiales biológicos o de estudio, excepto para tener la constancia de que el proceso ha conseguido su finalidad, es decir, la muerte de todos los microorganismos (Pérez-Uz, Silóniz, Torralba, & Vázquez, 2011).

La Tabla 2 muestra los diferentes mecanismos de esterilización existentes y los equipos utilizados para realizar dicho procedimiento. Cada uno de estos es relevante y diferenciado, aunque cumplen la misma función, ya que algunas de las metodologías físicas no son aplicables debido a las características del material o del medio a esterilizar.

Tabla 2
Mecanismos de esterilización.

Agente esterilizante	Equipo
Calor húmedo	Autoclave
Calor seco	Horno Pasteur Mechero
Filtración	Filtros membrana Equipos filtración Filtros HEPA
Radiación	Fuente Rayos gamma Fuente Rayos X
Óxido etileno	Cámara
Glutaraldehído	Cámara

Nota. Recuperado de (Pérez-Uz, Silóniz, Torralba, & Vázquez, 2011)

Metodología de investigación científica

Otro de los requerimientos de este contexto es el empleo de la metodología de investigación científica, de la cuál prescinden aquellos que utilizan los cultivos sin suelo para producir alimentos para el hogar o la venta al público. El método

científico es una aproximación conceptual que proporciona fuertes fundamentos para avanzar en el conocimiento biológico. consta de cinco pasos, el primero es realizar observaciones; el segundo, formular preguntas; tercero, postular hipótesis o respuestas tentativas a los interrogantes; cuarto, hacer predicciones sobre la base de las hipótesis para finalmente, probar estas predicciones sobre la base de las hipótesis consecutivamente. (Sadava & Fernández Castelo, 2009). El método científico ofrece un marco de investigación con unas prácticas que fundamentan la realización de experimentos.

Tan pronto como se realizan predicciones a partir de una hipótesis, es posible diseñar experimentos para probarlas. Existen dos tipos de experimentos los comparativos y los controlados. (Sadava & Fernández Castelo, 2009). En el momento de experimentar se parte del hecho de que ya se realizó el método científico y se está comprobando las predicciones sobre la hipótesis. En los experimentos de tipo comparativos se predice que van a existir diferencias entre las muestras o grupos basados en las hipótesis, entonces se verifica si existen o no las diferencias postuladas (Sadava & Fernández Castelo, 2009). Por su parte, en los experimentos controlados se comparan muestras o grupos, buscando iniciar el experimento con grupos que resultan lo más parecidos posibles. Se predice sobre la base de las hipótesis que algún factor o variable, desempeña un papel en el fenómeno que se está investigando y se emplea algún método para la manipulación de la variable en un grupo “experimental” mientras se deja un grupo “control” sin alteración. Luego se prueba si esa manipulación genera la diferencia postulada entre los grupos experimental y de control. (Sadava & Fernández Castelo, 2009). Actualmente, este tipo de experimentos son realizados en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, usando cultivos hidropónicos de control frente a otros en tratamiento para comparar efectos frente a la manipulación de una variable en la solución nutritiva, siendo la materia biológica de comparación la especie *Arabidopsis Thaliana*². En este tipo de experimentos se realiza el diseño considerando la existencia de una variable que es manipulada mientras otras se mantienen constantes. La variable modificada se llama variable independiente y la respuesta medida es la dependiente (Sadava & Fernández Castelo, 2009).

Aplicación de la estadística

La estadística es la ciencia que estudia conjuntos de datos cualitativos y su interpretación en términos matemáticos, los cuáles son útiles para a toma de decisiones en presencia de la incertidumbre. En relación con la investigación, ésta

² *Arabidopsis Thaliana* es la principal “planta modelo” en investigación sobre biología molecular, genética y fisiología vegetal **Fuente especificada no válida.**

la auxilia al tratar temas como la colecta y compilación de datos, el diseño de experimentos, el control de calidad de la producción, el ensayo de hipótesis, el estudio de la relación entre dos o más variables y la medición, tanto de la valoración de datos experimentales como de reconocimientos y detección de causas, entre otros. Por esto, la estadística es una herramienta imprescindible especialmente en la investigación biológica, pues esta le da una base objetiva de evaluación (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007).

Tres principios universales del diseño experimental³ inherentes a todo proyecto de base científica con buen fundamento estadístico son la selección aleatoria de las unidades experimentales, el número de repeticiones y el control local de las condiciones. El primer principio, hace referencia a la asignación de tratamientos a las unidades experimentales de modo que todas tengan igual probabilidad de recibir un tratamiento con el fin de brindar estimaciones imparciales y evitar el sesgo del muestreo. El segundo principio, permite la cuantificación del error experimental⁴ y brinda una medición más precisa de los efectos del tratamiento⁵. El número de repeticiones dependerán de la magnitud de las diferencias que se desean detectar y de la variabilidad de los datos por experimento. Por último, el tercer principio ayuda a la reducción del error experimental. (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007)

Los diseños experimentales tienen como objeto verificar si la diferencia entre los tratamientos es verdadera o producto del azar, establecer tendencias entre las variables. A través de estos se asignan los tratamientos a las unidades experimentales (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007). Para esto, existen diferentes tipos basados en ciertas especificaciones. La Tabla 3 menciona dos tipos clásicos de diseños experimentales, sus ventajas y nivel de eficiencia.

³ El diseño experimental es un esquema para realizar un experimento. Es el procedimiento que se sigue para asignar los tratamientos a las unidades experimentales. (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007)

⁴ Se denomina error experimental a la variabilidad entre unidades experimentales. (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007)

⁵ El tratamiento es la condición específica del experimento a la que está sujeta la unidad experimental. (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007)

Tabla 3.
Diseños experimentales de uso común

Nombre del diseño	Rasgos	Ventajas	Eficiencia
Diseño Completamente al azar (Badii et al., 2007b)	Un factor y cero gradiente de variabilidad	1. fácil de diseñar 2. fácil de analizar 3. diferentes # de repeticiones 4. máximo g.l. para el error	100%
Diseño de Bloques al azar (Badii et al., 2007a)	Un factor y un gradiente de variabilidad	1. reduce la varianza de error 2. fácil de analizar 3. más flexibilidad 4. más precisión	167%
Diseño de Cuadro Latino (Badii et al., 2007a)	Un factor y 2 gradientes de variabilidad	1. reduce la varianza de error 2. fácil de analizar 3. más flexibilidad 4. más precisión	222%
(a) Diseño factorial: asignación al azar de unidades experimentales (b) Parcelas divididas: sin asignación al azar de las unidades experimentales (Badii et al., 2007a)	Más de un factor y diferentes niveles para cada factor	1. más económico 2. medir las interacciones	288%
Diseños multivariados (alto número de variables, Badii et al., 2004)			
1. Análisis de Componentes Principales		1. Provee ordenación y el perfil jerárquica	
2. Análisis Factor		1. Reducir el número de las variables para el análisis	
3. Análisis Discriminante (Badii et al., 2007d)		1. Agrupar en base a la diferencia 2. Más riguroso con los supuestos de la normalidad	
4. Análisis Cluster (Badii et al., 2007c)		1. Agrupar en base a la similitud 2. Más robusto con los supuestos de la normalidad	
5. LISREL (LInear Structured RELationship) (Rositas et al., 2007), EQ , AMOS , PLS Graph , SMART PLS		1. Busca linealizar las interrelaciones entre las variables 2. Intercambia las variables independientes a las dependientes y vice versa	
6. Correlación Canónica		1. Interrelación entre gran número de variables	

Nota. Recuperado de (Badii, Castillo, Cortez, & Cortez, 2007)

Buenas prácticas de laboratorio

El último requerimiento que trae consigo la realización de cultivos hidropónicos en el contexto de centros de investigación, es la normativa al interior de los laboratorios, la cual rige todas las prácticas y procesos que se llevan a cabo. Según la universidad Icesi, las organizaciones requieren de un sistema de gestión de calidad bien implementado para competir en un mundo globalizado y abierto, por lo que busca no solo contar con capital humano calificado, sino también, garantizar dentro del marco de sus laboratorios de investigación, la producción de datos o resultados técnicamente válidos. Para esto, implementan las buenas prácticas de laboratorio para llevar a cabo cualquiera de estos tipos de experimentos. Dichas prácticas cubren los siguientes aspectos:

1. Sujeción a los requisitos técnicos de la norma ISO/IEC 17025.

2. Buenos procedimientos de muestreo.
3. Aseguramiento de la seguridad en el manejo de reactivos, equipos y vidriería.
4. Control de las condiciones ambientales y de seguridad en el laboratorio.
5. Buenas prácticas de documentación.
6. Correcto manejo de equipos y verificación.
7. Realización de ensayos no conformes.
8. Estimación de la incertidumbre y errores de las mediciones.
9. Aseguramiento de la calidad de los resultados analíticos.
10. Validación de los métodos analíticos.

Interacción

Cada vez es mayor el uso de las TIC en todos los campos de la sociedad y la hidroponía no se queda atrás. La tecnología de la nube y los controladores automatizados avanzados ayudan a monitorear constantemente los sistemas para mejorar la eficiencia y la producción de los cultivos. Los controles mejoran el uso de los recursos naturales y permiten configurar cada etapa del ciclo de crecimiento. Esto responde a nuevas formas de agricultura como la agricultura de precisión, en la que se implementan diferentes sensores y softwares que determinan las características del cultivo y permiten el control en tiempo real (Best S, León G, Méndez, Flores, & Aguilera, 2014). Por otro lado, según Daniel Torres Salinas uno de los bloques de aplicación de las TIC⁶ a través de los teléfonos inteligentes en la ciencia, es su utilidad como herramienta de investigación y como medio de recolección de datos, ya que este se convierte en un elemento más del laboratorio que puede servir como terminal de recogida o envío de información entre los actores presentes en la aplicación o los sensores que ofrecen información relevante en tiempo real, esta última, teniendo la posibilidad de ser traducida gráficamente por medio de algoritmos (Universidad de Alicante. Biblioteca Universitaria & Gallo-León, 2017).

La automatización de un proceso consiste en la sustitución de aquellas tareas tradicionalmente manuales por las mismas realizadas de manera automática por máquinas, robots o cualquier otro tipo de automatismo. De este modo, gracias al uso adicional de sensores, controladores y actuadores, así como de métodos y algoritmos de conmutación, se consigue liberar al ser humano de ciertas tareas. Este proceso es especialmente favorable en la realización de tareas peligrosas, pesadas o repetitivas, pues este proceso en muchos casos consigue soluciones de elevada precisión y exactitud imposibles con la intervención exclusivamente

⁶ TIC: Tecnologías de información y comunicación

humana. (PAC-Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs MASTER DEGREE: Industrial Systems Engineering)

Cuando se compara la automatización frente al control manual existen diferencias a la hora de realizar las distintas tareas.

Tabla 4

Tabla comparativa procesos realizados por el ser humano o una máquina.

SER HUMANO	MÁQUINA
Encontrar señales en situación de ruido elevado	Respuestas rápidas
Condiciones variables de localización.	Precisión en tareas repetitivas.
Condiciones de eventos inesperados	Control de eventos extraños.
Razonamientos inductivos	Razonamientos deductivos
Auto-formación basada en la experiencia	Procesamiento de grandes cantidades de datos.
Originalidad a la hora de encontrar nuevas soluciones	Sensibilidad a formas de energía no perceptibles por el ser humano
Flexibilidad y adaptabilidad	Utilización de aparatos de potencia
Condiciones de información saturada	Conversión rápida, codificación y transmisión de datos
	Entorno peligrosos

Nota. Recuperado de (PAC-Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs MASTER DEGREE: Industrial Systems Engineering)

La automatización de un proceso, en comparación con el control manual del mismo, ofrece algunos beneficios en diferentes áreas, de los cuáles es posible destacar los siguientes, los cuáles son aplicables a los cultivos hidropónicos:

- Mejora en la calidad del trabajo del investigador.
- Reducción de costos.
- Reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Mejor conocimiento del funcionamiento y desempeño de los sistemas.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos, así como para funciones de análisis, optimización y auto diagnóstico.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima. (PAC-Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs MASTER DEGREE: Industrial Systems Engineering)

Conclusiones del marco teórico

En conclusión, los cultivos hidropónicos como herramienta de investigación en laboratorios son una potente combinación de cultivos en agua y cultivos in vitro

que aplican la agricultura de precisión a través de las TIC. Lo que significa que, en este campo de uso se tienen objetivos y requerimientos particulares, por lo que se realizan procedimientos adicionales a diferencia de lo que sucede en la ejecución los cultivos sin suelo caseros. Específicamente, se procura la esterilidad de todos los elementos, el control de todas las condiciones de crecimiento de los cultivos, que los contenedores faciliten los procesos de muestreo y que se cuenten con los medidores necesarios para el estudio de este. Como el objeto de estudio en un cultivo puede variar los diseños experimentales nos apoyamos en la metodología de investigación científica para identificar esos pasos generales presentes en los experimentos para ofrecer un sistema que permita suplir las distintas necesidades de cada diseño experimental en su nivel más básico y desde la interacción nos afianzamos en los avances tecnológicos en la masificación de los dispositivos inteligentes como creadores de contenido para “modernizar” prácticas como el registro, análisis y participar de la cultura organizacional de los laboratorios de fisiología vegetal, pensar en adaptar sistemas interactivos a estos laboratorios supone un incremento en la producción de contenido por parte de los investigadores como en una optimización de tiempo. Ayudar a los investigadores tomarse el tiempo no a registrar la información sino a interpretarla.

TRABAJO DE CAMPO Y RESULTADOS

Metodología aplicada

Durante el trabajo de campo se colectó información cualitativa y cuantitativa a través de diferentes ejercicios propios de investigación etnográfica y participativa.

La metodología de investigación en la etapa Descubrir inicia con un primer acercamiento al laboratorio de Fisiología vegetal en el que se conocen y documentan sus características, las labores que ahí se realizan, las divisiones que posee, sus normas y protocolos. Además, se conocen los elementos utilizados para el montaje de un cultivo hidropónico para 600 plantas, las máquinas utilizadas y los espacios donde se ejecutan cada una de las actividades, de forma superficial (ver Anexo A y Anexo E). Este se lleva a cabo a través de un recorrido guiado.

Seguidamente, teniendo en consideración las etapas que involucra la implementación del experimento, se emplean los ejercicios de investigación cualitativa “*¿Qué hay en tu radar?*” (véase Anexo F), *Mapa de empatía* (véase Anexo G), *Grupo focal* (véase Anexo H) y el ejercicio que titulamos *Diagrama de experiencia* (véase Anexo I), en los cuáles se evalúan las percepciones de los

usuarios respecto a las diferentes etapas, su estado emocional en cada una de ellas y el grado de inversión en tiempo, recursos y esfuerzos. Con esto, se realiza el análisis del grado de oportunidad de intervención para proceder a realizar la elección de las etapas y necesidades en las cuales se centra el desarrollo de la propuesta de diseño.

Una vez seleccionado el enfoque en la etapa de Montaje del cultivo, se aplicó la técnica *Arqueología del comportamiento* (véase Anexo J) en la que se observó en detalle la actividad, registrando datos cuantitativos de cada actividad realizada.

Todo el proceso de trabajo de campo se realiza en base a un experimento con 600 unidades muestrales realizado por un solo investigador.

En la etapa de análisis del sistema a través del *Focus group* (véase Anexo H) y el *Behavioral archeology* (véase Anexo J), se encuentra que los usuarios llevan registros manuales de los experimentos, los cuáles deben digitalizar. También hacen uso de otros formatos impresos en el laboratorio para la realización del montaje. Estos dos están vinculados a lo largo del experimento y siempre se sujetan a las guías y tests científicos existentes.

El *diagrama de experiencia* (véase Anexo I) realizado en nuestro trabajo de campo nos muestra que la etapa de análisis es una etapa frustrante para los investigadores ya que no es solo analizar los datos sino que se debe recolectar la información de las diferentes fuentes y sin contar el margen de error que hay durante esta recolección como explicamos anteriormente los investigadores utilizan bitácoras y el margen de error en la digitalización de estos datos se puede dar por problemas caligráficos o por diferentes interpretaciones en la medición registrada por parte de los investigadores involucrados en un mismo experimento.

Resultados

Para identificar las causas de las problemáticas que genera el sistema actual para realizar cultivos hidropónicos en el laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad Icesi, y conocer los deseos de los usuarios y los diferentes requerimientos de diseño con los que debe contar la solución de diseño final, se realizó trabajo de campo, aplicando la metodología anteriormente mencionada en la Metodología aplicada. A continuación, para efectos de una mayor comprensión de los resultados de la investigación, se presentan las diferentes etapas del proceso de experimentación completo, profundizando posteriormente, en las etapas Montaje y Análisis.

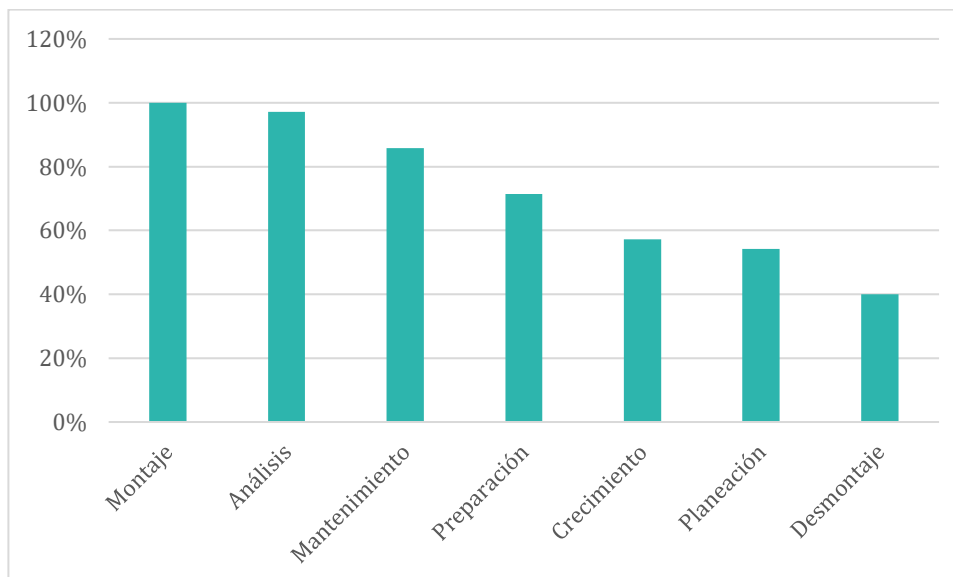


Nota. El número en la zona inferior de cada segmento indica el número de usuarios que participan activamente en el desarrollo de la etapa.

Figura 2 Etapas del proceso de experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.

La ilustración anterior indica las etapas del proceso de experimentación con cultivos hidropónicos en el laboratorio indicado. En la primera etapa del proceso, el equipo completo realiza la planeación del experimento, ya que este está vinculado a un proyecto de investigación general, por ello, aquí se plantean los objetivos del experimento y demás factores relevantes. Posteriormente, una vez se han elegido la especie vegetal con la cual se va a trabajar, se preparan las semillas, pues éstas se encuentran en un estado de dormancia, por lo que se llevan a germinar invitro en cajas Petri, para obtener plántulas suficientes para realizar el cultivo hidropónico en sí, lo cual lleva al tercer momento, que es en el que las plántulas se dejan creciendo en el cultivo hidropónico en condiciones normales controladas. Al avanzar a la etapa *Tratamiento*, se modifica la variable en estudio. Esta etapa es la que contiene en sí el carácter experimental. Finalmente, se realiza el estudio y análisis de los resultados obtenidos a partir de los datos recolectados de las etapas crecimiento y tratamiento, como se mencionó en el marco teórico.

Enfoque de solución



Nota. Para este ejercicio se consideraron Montaje y Mantenimiento como dos etapas más del proceso, pero, posteriormente, con el avance del trabajo de campo, se definieron como actividades que hacen parte de la etapa Crecimiento, es por esto, que no se encuentran en la Figura 2.

Figura 3 Nivel de impacto de cada etapa, en la experiencia de usuario en el proceso de experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.

En el análisis panorámico de las etapas de un experimento con cultivos hidropónicos a través de la herramienta *¿Qué hay en tu radar?* (véase Anexo F) se identifica que la actividad que mayor esfuerzo e inversiones en tiempo, recursos y dinero exige a los investigadores es la del *montaje del cultivo*, que requiere de una inversión y cuidado de no contaminación del 100%, seguida a ésta, la de *análisis y estudio* del experimento que demanda un 97% de estos mismos aspectos y en tercer lugar con un 86% se encuentra la actividad de *Mantenimiento*. Esto da como resultado que dichas actividades son las que ejercen mayor impacto sobre los usuarios a lo largo de todo el proceso de experimentación, es decir que son en las que desean con mayor urgencia que sean intervenidas. Es importante mencionar que la actividad *Mantenimiento* está sumamente ligada a *Montaje*, pues se repiten las mismas actividades, exceptuando el corte y esterilización de los soportes, es decir que, al optimizar *Montaje*, consecutivamente, se optimiza *Mantenimiento*.

A partir de esto, se obtiene la dirección del enfoque del proyecto de investigación y diseño hacia las actividades de montaje y, por ende, mantenimiento, de las cuales, la primera, hace parte de la etapa crecimiento y la segunda, tanto de crecimiento y tratamiento; y las actividades recolección y análisis de los datos del cultivo

hidropónico para estudio, las cuáles hacen parte de las etapas crecimiento, tratamiento y análisis.

Además, algunos de los usuarios habían expresado que una de sus prioridades en el proceso era evitar la contaminación, esto también se evidenció en la consulta de la literatura existente, y que su necesidad mayor se encontraba en la optimización del tiempo. Por lo que, como muestra la figura 4, estos factores, junto con Esfuerzo, recursos y dinero, se pusieron en comparativa para ver la perspectiva de todo el equipo respecto a la importancia de cada uno de estos. Se encontró entonces que el factor de mayor relevancia para el equipo de investigación efectivamente es el *tiempo* con un 89% de impacto, seguidamente, el nivel de *riesgo de contaminación* con un 80% y, en tercer lugar, los *esfuerzos* realizados por ellos a lo largo del proceso, es decir que, estos factores también hacen parte del enfoque desde las solicitudes realizadas por los mismos actores involucrados.

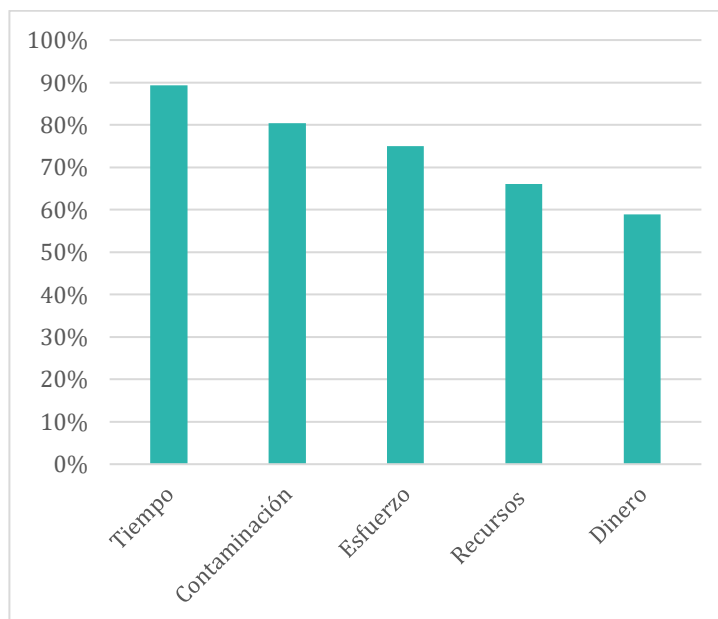


Figura 4. Nivel de relevancia de los factores de posible intervención para los usuarios del laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi durante el desarrollo de experimentos con cultivos hidropónicos.

En el proceso de planeación es importante resaltar que, de los experimentos existentes en el laboratorio, cada investigador es líder de uno y los demás, dependiendo del tamaño del experimento pueden entrar o no a ser colaboradores, por lo que se debe llevar un proceso organizado de orden y registro, para ello es importante crear subgrupos de trabajo enfocados en cada proyecto, así mismo la información debe estar clasificada por proyecto. La finalidad de estos grupos es llevar un registro detallado de cada experimento, los grupos deben poder ser fáciles de crearse y desaparecerse una vez haya finalizado el experimento dejando documentos de registro que pueden utilizarse de referencia para futuras investigaciones. La información creada por los subgrupos debe poder ser

accesible por cualquier miembro del grupo en el momento que lo desee para suministrar información o para revisarla.

Teniendo en cuenta que actualmente los investigadores invierten 55 horas del experimento en la recolección y digitalización de los datos podemos apostarle a la reducción del tiempo empleado en la digitalización con la implementación de bitácoras virtuales para grupos de investigación donde podamos centralizar la información en un espacio virtual, para tener acceso remoto, y privado, porque la información es exclusiva. También hay que tener en cuenta que los tiempos de análisis están ajustados a los horarios laborales de los investigadores, ellos no tiene registro fuera de la jornada de trabajo por lo que es importante disminuir la incertidumbre del estado de los cultivos por medio de sensores y acciones informadas, si bien por experiencia de los investigadores ha sucedido que factores externos como que durante los domingos apaguen el aire acondicionado y esto afecta la temperatura de los tanques, por medio de sensores que alerten las condiciones del cultivo puede favorecer a tomar acciones al respecto.

Montaje

La actividad de Montaje es un proceso que se emplea para conformar el sistema de cultivo para las plántulas en estudio, el cual está conformado por diferentes elementos, los cuales son sometidos a diferentes procesos para que cumplan con los requerimientos del contexto, tales como la esterilidad. A partir de esto, se analizan tres factores, el primero, son los elementos del sistema, el segundo, es el proceso en sí de crear el cultivo y el tercero, es el contexto. Dado que los dos primeros elementos están relacionados, pues cada uno condiciona al otro y a su vez, la localidad los condiciona a ambos, este último es el primero en analizarse.

El Laboratorio

El laboratorio se encuentra ubicado en el primer piso del edificio L de la universidad Icesi, específicamente, en la zona de investigación, la cual está distribuida en los primeros 4 pisos del edificio en el lado derecho. El centro de investigación se encuentra segmentado en dos principales áreas de trabajo de acuerdo con la naturaleza de las actividades que ahí se realizan, la primera, es el salón con los equipos de trabajo para experimentación que internamente tiene divisiones, posee normas de acceso y trabajo, y la segunda, es la zona de trabajo en escritorio. En la zona número 1 el laboratorio realiza diferentes proyectos, por lo que los equipos y herramientas están ubicadas de forma estratégica para facilitar el uso de todos los investigadores y no se pueden mover únicamente para favorecer la realización de los cultivos hidropónicos. Esta zona cuenta con estantes, cajones para almacenar herramientas, lavaplatos, químicos en espray, carros de laboratorio, almacenamiento de nutrientes y químicos, equipos como

luces de simulación de luz solar, medidores de pH, micropipetas, cabinas de luz UV y herramientas como pinzas, guantes, tapabocas, cajas Petri, entre otras.

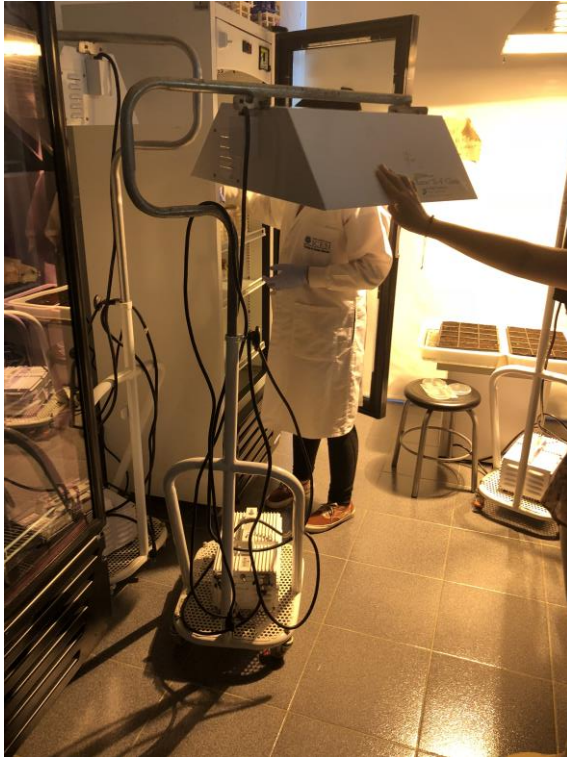


Figura 5 Equipo para simular la luz solar en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi. En el fondo a la izquierda, un equipo especial para refrigeración, y a la derecha en una silla, unas semillas creciendo dentro de unas cajas Petri.

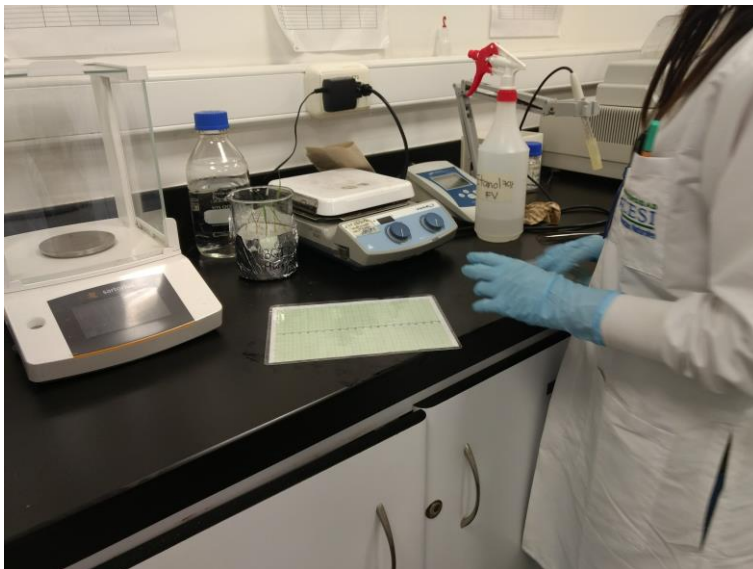


Figura 6 Algunos de los equipos que se encuentran en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi en el área de experimentación.



Figura 7 Integrantes del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi en el área de trabajo en escritorio. De izquierda a derecha: Vanessa Reyes, José Alberto Sánchez, Sandra Paola Moreno, Juliana Chaura, al fondo y por último, Nicole Díaz.

Para acceder a este sitio deben seguirse algunos protocolos entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Acceso con carné a la zona de investigación.
- Entrada al laboratorio con bata, gafas, guantes, cabello recogido y zapatos cerrados.
- Todos los elementos utilizados deben ser desinfectados antes y después de ser utilizados.
- Se debe desinfectar constantemente la zona de trabajo y las manos con hipoclorito.

A pesar de que este espacio es propio de fisiología vegetal y es amplio, existen actividades a lo largo del proceso de montaje de un cultivo hidropónico, que hacen que los investigadores hagan uso de otros espacios en el exterior, pero de igual forma ubicados en el primer piso, tales como el cuarto de agua destilada y/o esterilizada.

Este espacio es de gran importancia en relación con el proceso de montaje de un cultivo hidropónico, ya que la mayoría de las actividades son realizadas por los investigadores apoyándose de las herramientas con las que cuentan, y como se mencionó anteriormente, estas están ubicadas de modo que puedan ser de fácil uso para los diferentes científicos que hacen parte del equipo y no las pueden mover. Al estar distribuidas a lo largo del laboratorio, los investigadores deben pasar por 10 zonas de trabajo diferentes, transportando en un carro de laboratorio los tanques con agua, las plántulas y demás elementos que requieran.

El cultivo hidropónico se ubica en el 4to piso del edificio, donde tiene lugar para tres mesas estándar y cuenta con energía eléctrica, luz UV, iluminación y aire acondicionado. Este espacio fue seleccionado ya que estaba disponible, el espacio era suficiente para la cantidad de plantas que utilizan en los experimentos y estaba libre de las adversidades climáticas. Es decir que, si existiese otro espacio disponible más amplio o con mejores condiciones, podría ser este el elegido para que se dé el crecimiento de los cultivos, o si alguna situación hiciera que no pudieran utilizar más la locación actual, los investigadores podrían fácilmente reubicar los tanques con las plantas.

El sistema para hacer los cultivos hidropónicos

El laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad Icesi cuenta con un sistema para realizar cultivos hidropónicos que está compuesto por 4 elementos principales: tanques plásticos, soportes de goma EVA, carros de laboratorio y un sistema de simulación de luz solar. Éstos son elementos aislados que a lo largo del proceso de montaje convergen hacia el mismo objetivo. En la siguiente figura se encuentran las características de estos elementos.

Elemento	Funciones	Especificaciones
Contenedores 	Contener el agua con la solución nutritiva.	Capacidad: 9Lt Material: Polipropileno Autoclavable: NO
Soportes 	Sostener las plántulas	Capacidad: Max 75 plántulas Material: Etilenilacetato Autoclavable: NO
Carro de servicio 	Transportar los tanques	Capacidad: 4 tanques Material: PP y acero inoxidable. Medidas: 480X950 mm
Luminaria 	Proveer al cultivo luz o sombra similar a la luz solar.	<ul style="list-style-type: none"> -Enfriado por aire -Bombilla de sodio de alta presión Ultra Sun de 1000V -Temporizador programable -Cargadores de luz -Altura y dirección graduables

Figura 8 Elementos del sistema actual para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi.

Como lo muestra la figura anterior, los tanques contenedores y los soportes de goma EVA no son autoclavables⁷ por lo que son esterilizados de forma manual cada inicio del experimento y cada tres días, en el día de mantenimiento, para hacer que el agua se mantenga oxigenada y sin algún tipo de contaminación. Otra labor manual que deben realizar, son los soportes, pues cada vez que van a realizar un cultivo deben tomar las medidas a las láminas de goma EVA, cortarlas de modo que se ajusten a los tanques y hacer unos cortes en L en los que irán ubicadas las plántulas. Estos cortes los realizan de acuerdo con la cantidad de plántulas que requieran y en ocasiones pueden ser entre 300 a 600 unidades, es decir que es una labor realmente tediosa.

⁷ Autoclavable o esterilizable en autoclave: cualidad de que algo es apto para ser sometido al proceso de esterilización a través de un autoclave, máquina que elimina toda forma de vida microbiana a través de altas temperaturas y presión.

El proceso de montaje de un cultivo hidropónico



Nota. La figura muestra la cantidad de horas que el usuario emplea realizando la tarea indicada, no lo que realmente se tarda el proceso, pues las horas en las que por ejemplo, se dejan actuando químicos no fueron contabilizadas, pues los investigadores están en esos momentos invirtiendo su tiempo en otras labores.

Figura 9 Proceso de montaje de un cultivo hidropónico de 600 plantas, en 8 tanques, en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi realizado por una persona.

Por otro lado, acerca del proceso general de montaje, no solo es descentralizado como se mencionó anteriormente, sino que específicamente en el momento 5 en el que se pasan las plántulas a los soportes, es una única tarea, en la que se

expenden más de 9 horas. Esto se debe a que las unidades muestrales se ubican con pinzas y mucho cuidado para no ir a lastimar las plántulas al ingresarlas a los soportes como enhebrando una aguja, ya que así está establecido el proceso y es lo que permite la herramienta.

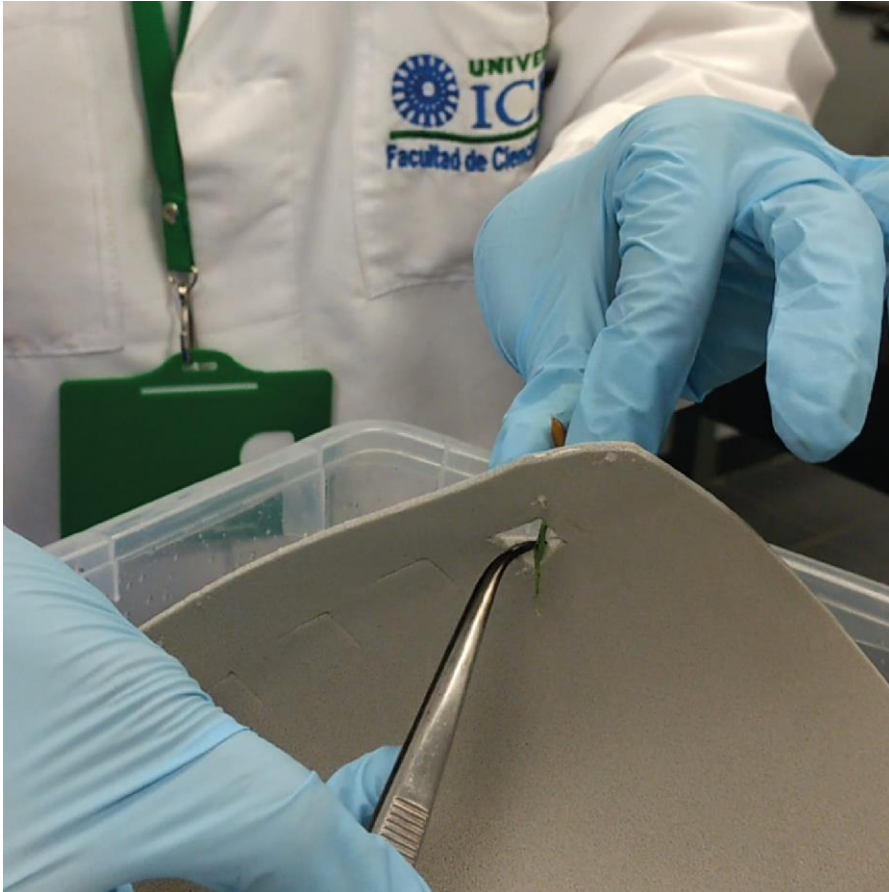


Figura 10 Investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, ubicando una plántula en el soporte de goma EVA, para hacer un cultivo hidropónico.

Finalmente, la figura 11 deja ver que en solamente hacer este último paso abarca más del 40% de todo el proceso, seguido por la actividad directamente relacionada a él, que es el hacer los soportes con un 17% y el proceso de esterilización manual con un 16%.

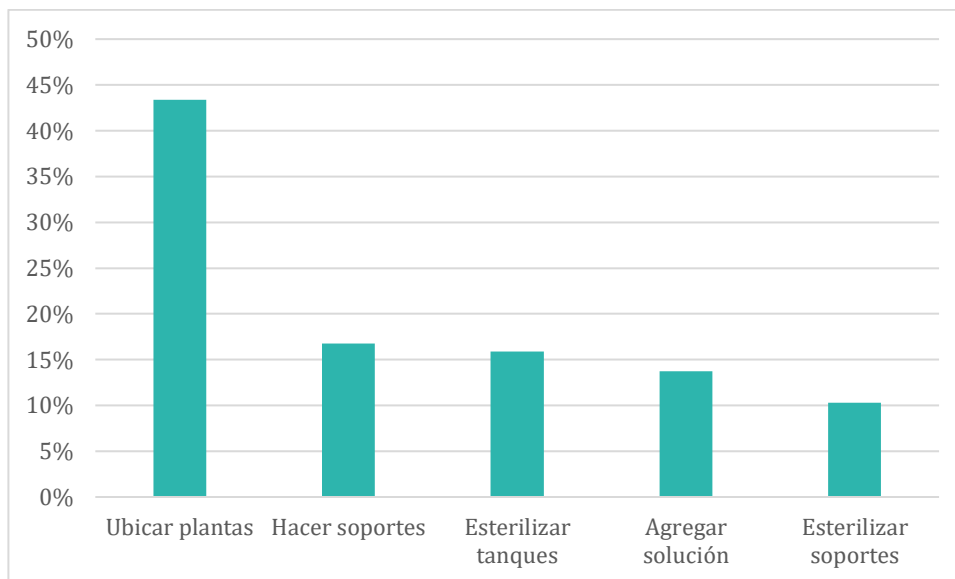


Figura 11. Porcentaje de tiempo invertido por actividad en el montaje de un cultivo hidropónico en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi.

Mantenimiento del cultivo

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de mantenimiento se realiza cada tres días y consta de repetir la segunda fase del proceso de montaje, es decir, tomar nuevos tanques, esterilizarlos, llenarlos con agua destilada y añadir los nutrientes para posteriormente, pasar el soporte con las plantas a los nuevos tanques, lo que toma en total entonces, 9,3 horas diarias. Además, el pH se mantiene controlado cada día con una revisión y nivelación. Aunque los investigadores consideran que lo ideal es tener como mínimo 2 revisiones y nivelaciones, pues en unas horas el nivel puede cambiar considerablemente.

Recolección de datos

Por medio del *Focus group* (véase Anexo H) y el *Behavioral archeology* (véase Anexo J), se encuentra que los usuarios llevan registros manuales de los experimentos, los cuáles deben digitalizar. También hacen uso de otros formatos impresos en el laboratorio para la realización del montaje como son los mapas de montaje en Excel que son aquellos que crean para saber que planta de acuerdo con su genotipo va ubicado en cada agujero de fomi y a su vez en cada tanque ya sea de control o de tratamiento. Estos documentos están vinculados a lo largo del experimento y siempre se sujetan a las guías y protocolos científicos existentes.

Por otro lado, en el análisis la investigación cualitativa participativa del Mapa de empatía, el Grupo focal y el Diagrama de experiencia a través de la comparación

de términos similares presentes entre ellos, arroja que el trabajo en equipo y el reconocimiento de los buenos resultados son dos factores que generan una motivación alta al grupo de investigadores y el trabajo estructurado y la orientación al logro son competencias relevantes para el equipo, también la orientación al logro es un seguimiento al proceso que llevan de cada experimento y hecho de mantener los cultivos con las condiciones intactas ósea libres de contaminación y condiciones estables para el desarrollo de las plantas sin verse afectado el factor o factores de estudio. La Figura 4 muestra en porcentaje el número de veces que son mencionados estos temas en los tres ejercicios mencionados.

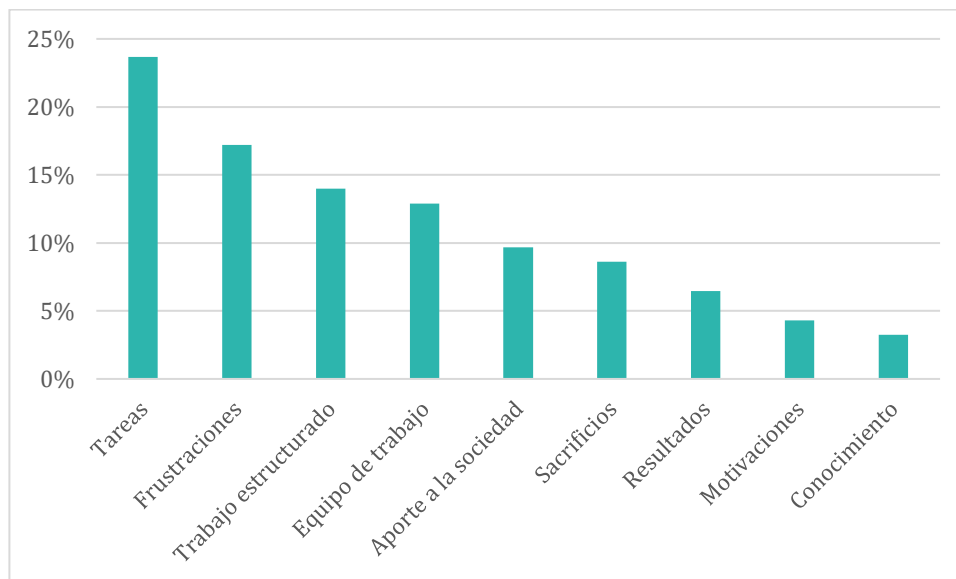


Figura 12. Porcentaje de mención de los temas en los ejercicios de investigación cualitativa Mapa de empatía, Diagrama de experiencia y Grupo focal.

Discusión

Una de las creencias que se tenía en el primer acercamiento al laboratorio y al sistema, era que el factor de mayor relevancia para los usuarios era evitar la contaminación, ya que al ocurrir se echan a perder los recursos naturales implicados y todo el proceso experimental, haciendo que se inicie de nuevo todo el cultivo, pero en el proceso de investigación se encuentra que el factor más relevante es el tiempo, por lo que los investigadores medirán la eficiencia de la solución de diseño, no solo por su disminución en el porcentaje de error en el experimento, sino sobre todo, por el porcentaje de reducción en las horas que ellos invierten, de las cuáles el 78% se puede optimizar al mejorar el proceso de montaje y análisis. Este proceso de optimización se da a partir de la centralización del trabajo, el cambio de los materiales de los elementos del sistema para que

sean esterilizables y la creación de nuevas herramientas que hagan más efectivo el proceso de pasar las plántulas a los soportes, es decir, la solución de las causas de que el proceso sea tan extenso.

Una de las primeras hipótesis planteadas al ver que la necesidad principal a satisfacer era la optimización del tiempo, fue la posibilidad de automatizar al máximo posible el proceso. Sin embargo, se descartó esta posibilidad ya que el proyecto se encuentra dentro de un entorno académico donde se pretende adquirir y generar conocimiento desde el factor humano, por lo que la solución de diseño no debe pretender eliminar completamente la intervención humana con procesos de este tipo.

Otro de los factores más relevantes hallados en el proceso de realización de estos cultivos, es la fatiga corporal, visual y cognitiva que genera, pues algunas labores son muy repetitivas, pero otras como el paso de las plántulas a los soportes, requieren de mucho esfuerzo visual para los usuarios. Además del paso de los tanques con agua por las diferentes áreas de trabajo, por lo que este es uno de los temas que al abordarlos a través de la solución de diseño hará una diferencia significativa para los usuarios.

En el marco teórico se plantean según la biografía consultada, los elementos que es ideal que contenga un sistema para hacer cultivos hidropónicos y los beneficios de la aplicación de las TIC en estos procedimientos. Esto en comparación con lo encontrado en el trabajo de campo respecto a lo que actualmente posee el Laboratorio de investigación de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi, evidencia la ausencia de elementos en el sistema y procedimientos para la evaluación del experimento. Algunos de estos son los sensores y la aplicación de las TIC para obtener información del sistema en tiempo real a distancia, que se hace necesario en mayor medida los días no laborales que los investigadores no pueden estar presentes para tomar los datos de forma directa.

Por otro lado, en el trabajo de campo se halló también que el laboratorio no se consignaban los datos de todos o de una parte de los experimentos realizados con cultivos hidropónicos, que hubieran sido favorables para la investigación, pero representan una oportunidad de intervención, ya que este tipo de historial ayuda a tener mejores prácticas de laboratorio, puede ser una función que aporte el sistema solución en el área de interacción. Además, la aplicación de la estadística en la investigación científica es de suma importancia y es un factor crucial a tener en cuenta tanto en la etapa de planeación como en la de análisis, no solo para que reducir el tiempo invertido en estas actividades y hacerlas más eficientes, teniendo en cuenta los beneficios del uso de la tecnología frente al registro manual, sino también para potencializar la competencia de los usuarios de orientación al logro, el rigor científico al realizar trabajos estructurados y los hechos que les motivan, como el obtener buenos resultados y la sensación de progreso.

DISCUSIÓN Y MARCO CONCEPTUAL

Enfoque de solución

De acuerdo con los resultados obtenidos en el trabajo de campo, la consulta teórica y el análisis de estos, el enfoque está en hacer más productivo el proceso de montaje del cultivo hidropónico, y, por consiguiente, el de mantenimiento, a través de la optimización del tiempo que intervienen activamente los usuarios en la realización de dicha labor. Esto se logra a través de la creación de nuevas herramientas, el replanteamiento del proceso y el rediseño de algunos de los elementos ya existentes, favoreciendo a su vez, la ergonomía y la reducción de los esfuerzos por parte de los investigadores. Las capacidades de los investigadores limitadas por las herramientas tecnológicas y el enfoque al logro frustrado por malas experiencias e incertidumbre pueden mejorarse enfocándonos en brindar una mejor estructura organizacional en la planeación de proyectos que permita brindar una mejor experiencia potenciando estas capacidades de orientación al logro ofreciendo accesibilidad oportuna a la información y recibiendo retroalimentación del estado de los cultivos y del progreso avanzado.

Hipótesis de diseño

Para tener un experimento con cultivos hidropónicos en condiciones controladas se requiere de un sistema integrado que se ajusten a los requerimientos del contexto, facilitando la ejecución de las tareas repetitivas, centralizando el proceso y permitiendo hacer un seguimiento en tiempo real, centrando la atención en el análisis de los datos.

Determinantes

La solución de diseño debe permitir que los elementos utilizados sean autoclavables y ajustarse a los espacios dados por el laboratorio de investigación. Debe permitir el tener los cultivos hidropónicos por muestras, es decir, con fuentes de agua con nutrientes separadas y permitir el método de raíz flotante. Además de que debe estar pensado para el uso de dos personas el componente físico y poderse implementar en el menor tiempo posible.

Requerimientos y Principios

Principios de diseño

- 1. Reducción del tiempo invertido por los usuarios en el montaje y mantenimiento del cultivo hidropónico**
A través de la adecuación de los elementos a los determinantes del contexto y la simplificación de tareas sin eliminar la intervención humana.
- 2. Sistema integral**
Sistema con elementos unificados que hagan más práctico el proceso de montaje y monitoreo de los cultivos, reduciendo los esfuerzos de los usuarios con buenas prácticas ergonómicas.
- 3. Aplicación de buenas prácticas de laboratorio**
A través del registro del historial de datos de los experimentos realizados y la correcta aplicación de la estadística en el desarrollo del experimento.
- 4. Potencialización de las competencias del equipo**
Reducir el impacto de las actividades que generan sensaciones de frustración y recalcar aquellas que generan motivación. Brindar herramientas que potencialicen el trabajo en equipo durante el desarrollo de los proyectos experimentales.

Requerimientos de uso

El componente físico de la solución de diseño debe:

- Evitar los errores de uso por parte de los usuarios.
- Ser claro e intuitivo, al contener los displays necesarios para comunicar el modo de uso del producto de forma directa en él.
- Poder usarse en el laboratorio de investigación, considerando los espacios que este posee y la disposición de los otros elementos con los que debe interactuar, tales como mesas y mesones.
- Guiar al usuario en la ubicación idónea de los diferentes elementos del sistema.
- Favorecer el uso por personas de distintas alturas y/o mano dominante.

El componente digital debe:

- Navegar y escribir en el software.
- Poder usarse por uno o varios investigadores al tiempo.
- Ser claro e intuitivo el software, las pantallas y la interacción dentro de este.
- Debe ser prueba de errores.
- Poder acceder remotamente a la información del proyecto en el que se encuentre involucrado.
- Debe generar alertas para los usuarios de las condiciones del cultivo.
- Debe retroalimentar al investigador del progreso del experimento.

Requerimientos de función

El componente físico de la solución de diseño debe:

- Permitir hacer cultivos hidropónicos por raíz flotante y en muestras separadas.
- Tener una capacidad mínima de 30 plántulas por contenedor.
- Permitir que los elementos que se encuentren en contacto directo con el agua o las plántulas sean esterilizables en autoclave.
- Evitar la confusión por cables expuestos en desorden.
- Procurar el cuidado de las plántulas al ser ingresadas en los soportes.
- Incluir soportes que se descendan conforme lo hace el nivel del agua.
- Tener el mayor número posible de elementos reutilizables.
- Permitir el transporte de los diferentes elementos que se emplean para la realización del montaje del cultivo hidropónico, tales como guantes, tapabocas, pinzas, bata, atomizadores con productos químicos o agua, nutrientes, micropipeta, set de puntas para esta última, y cajas Petri.
- Favorecer la organización de los elementos requeridos para la realización de las tareas.
- Ajustarse al uso por dos o más personas al mismo tiempo.
- Brindar un área de trabajo cómoda para el usuario.
- Disminuir el número de veces que el investigador debe cargar los contenedores con agua.
- Reducir el esfuerzo visual.
- Ser seguro para los usuarios a lo largo de la experiencia de uso.
- Permitir visualizar sin mayores esfuerzos los diferentes elementos.

El componente digital debe:

- Permitir crear infinidad de grupos y poder invitar a la cantidad de investigadores participantes que se desee.
- Exportar la cantidad de veces que se desee los reportes registrados de cada proyecto.
- Ser legible para en los dispositivos móviles.
- Autoguardado de la información.
- Crear un equipo de trabajo en menos de 5 minutos.
- Crear mapas de ubicación de las plantas en los cultivos.

Requerimientos estructurales

El componente físico de la solución de diseño debe:

- Contener una estructura principal que soporte los elementos del sistema.
- Ser estable.
- Permitir la protección de todos los elementos

El componente digital de la solución de diseño debe:

- Un dispositivo móvil.
- Un cable ethernet por cada dos tanques de cultivo que se van a utilizar.
- Conexión a internet en los dispositivos inteligentes.

Requerimientos técnico-productivos

El componente físico de la solución de diseño debe:

- Poder fabricarse en menos de 2 meses en series cortas.
- Los materiales que deban autoclavarse, deben estar certificados.
- Los materiales deben poder conseguirse en el mercado local.
- Los procesos de fabricación deben poder encontrarse en el mercado local, al igual que la mano de obra requerida.

El componente digital de la solución de diseño debe:

- Poder desarrollarse en 2 meses el código y diseño.
- Debe ofrecer la posibilidad de conectarse con los sensores.

Requerimientos económicos o de mercado

El componente físico de la solución de diseño debe ser un sistema de bajo costo o con una inversión representativa que recupere la inversión inicial en un periodo menor a 5 años, además de que permita adaptarse a diferentes perfiles de usuarios. El componente digital tendría un costo alto pero se financiaría mediante modalidad de suscripción lo cual lo haría altamente rentable y este sistema digital puede adaptarse y es flexible a diferentes disciplinas relacionadas con el campo de la investigación.

Requerimientos formales

El estilo del sistema debe estar alineado a los equipos de laboratorio reflejando que es para labores de investigación científicas. Los colores utilizados deben reflejar higiene y la identidad de la institución. Se debe mantener la simplicidad en los elementos, las texturas y los colores. Además de reflejar de cierto modo, las formas del agua y el movimiento, ya que es el centro de los cultivos hidropónicos y es un sistema móvil. En coherencia la aplicación debe estar acorde a estos estándares adaptándose a los registros, protocolos y guías utilizadas por los laboratorios.

Requerimientos de identificación

El sistema debe ser intuitivo y tener displays visuales y táctiles que guíen al uso correcto del sistema. Estará identificado con la marca HIMO en los elementos más significativos por ser de diseño original o de mayor tamaño.

Requerimientos legales

El sistema debe cumplir con la norma ISO/IEC 17025 sobre buenas prácticas en laboratorio en puntos como el equipo, el mantenimiento, calibración y materiales. Cumplir con la protección de la propiedad intelectual teniendo en cuenta la Ley 23 de 1982: sobre derechos de autor, de los investigadores y de la institución para la que trabajan evitando la exposición de la información confidencial.

Concepto

Sistema modular y automatizado para la experimentación de especies vegetales en cultivos hidropónicos con registro de información y herramientas interactivas para su seguimiento y análisis.

Determinación Estética del sistema de solución

La estética de la solución, deben estar alineadas entre el componente físico y digital, además de estar alineados con el contexto de laboratorio.

Se pretende reflejar la esterilidad y limpieza a través del color blanco, el agua con el color azul, las plantas con el color verde y que uno de los valores más relevantes para los usuarios, como lo es tener trabajos bien estructurados y honestos, se vea reflejado con las transparencias. Además de que sea orgánico al igual que lo son estos elementos de la naturaleza que son el centro de los proyectos de investigación.

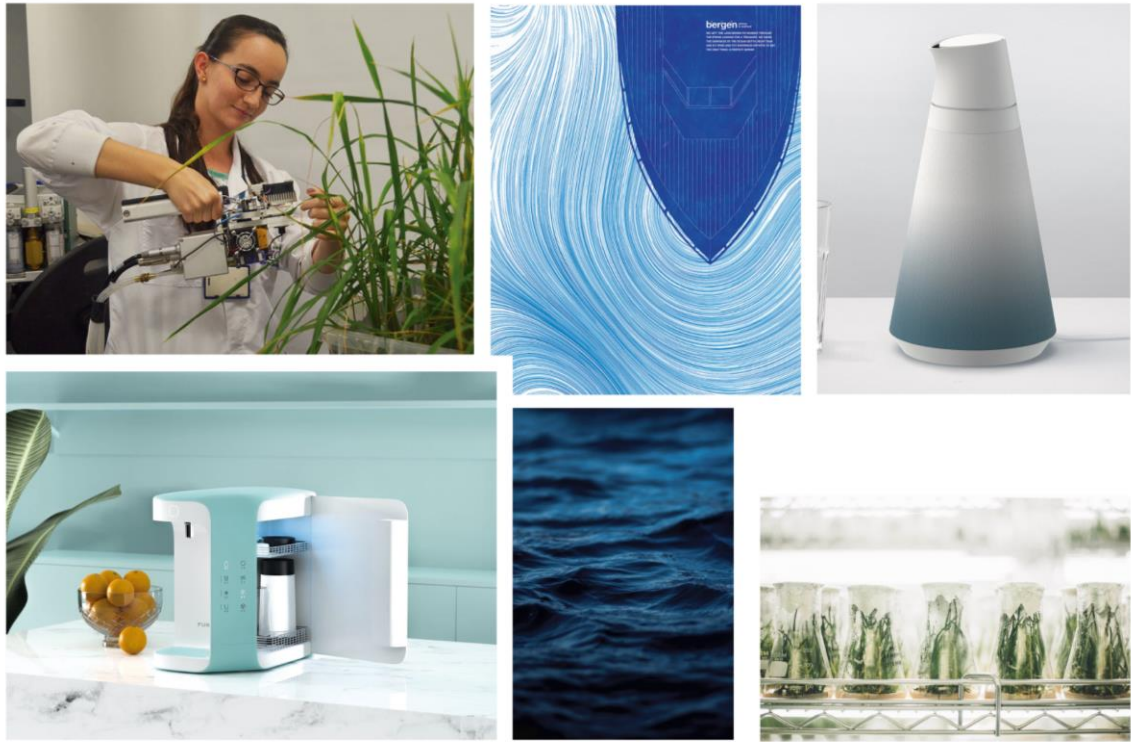


Figura 13 Moodboard de inspiración para estética de la solución. De izquierda a derecha y de arriba abajo, fotos por Universidad Icesi en Icesi.edu.co; Ivanov y Zevereva en Behance.net; Kwanjun Ryu en Behance.net; Hyunsoec y Hs2 Studio en Behance.net; Imleedh Ali en Unsplash.com y Chuttersnap en Unsplash.com.

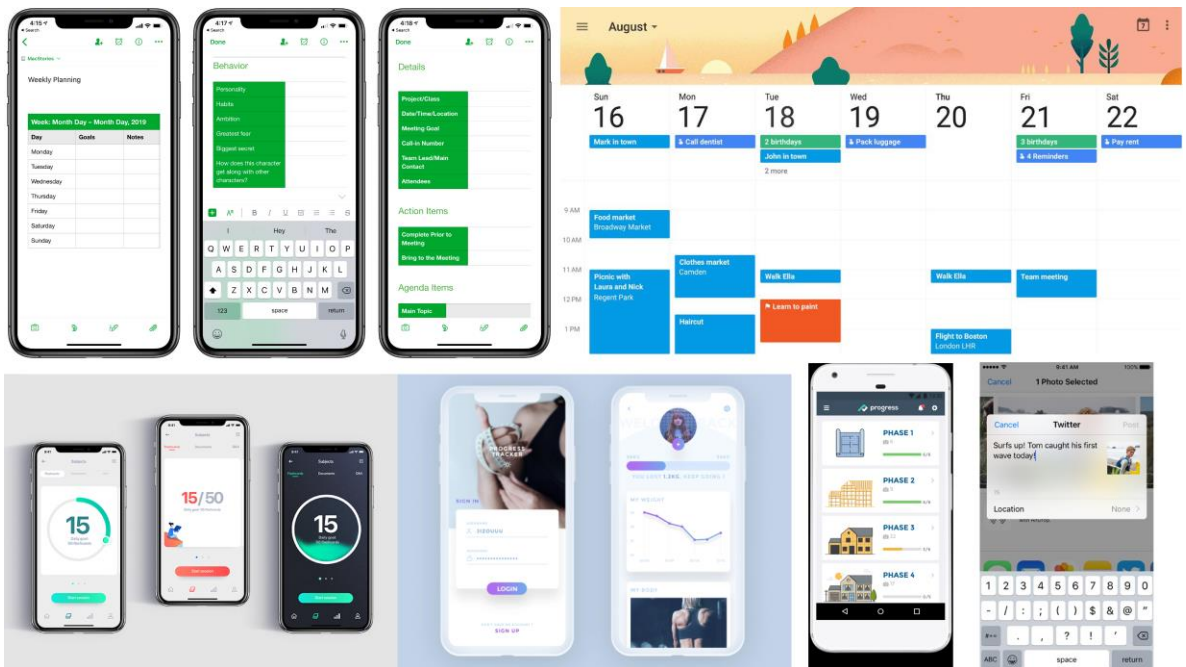


Figura 14 Moodboard de inspiración para estética de la solución para el componente digital. De izquierda a

derecha y de arriba abajo, fotos UI referencia de Evernote; Google calendar aplicación móvil y web; Marina Korotkevich en dribbble.com; Jisoo Yun en dribbble.com; pantalla de Progress app en joinprogress.com y human interface guidelines en developer.apple.com.

Promesa de Valor

De acuerdo con lo anterior, la propuesta de valor está orientada a brindar a los investigadores del laboratorio de investigación de fisiología vegetal de la universidad Icesi, un sistema que les permita realizar cultivos hidropónicos ajustándose a los diferentes tamaños de cultivos que pueden llegar a realizar, que facilite el trabajo centralizado y la disminución de las tareas repetitivas, reduciendo así mismo, los esfuerzos físicos que deben realizar los usuarios en el proceso de montaje. se va a poder realizar seguimiento a distancia de las condiciones de los cultivos, el sistema va a ofrecer alertas de notificaciones que permita informar a los investigadores que ocurre con las condiciones de las plantas en el experimento reduciendo la incertidumbre de no saber que sucede con los cultivos durante la jornada no laboral o tiempo que disponen para otras tareas, un control de la información centralizado para los investigadores y de acceso restringido únicamente para los usuarios que integran cada proyecto, también un historial de experimentos y una reducción en el margen de error humano al hacerlo todo el registro directamente en digital.

Proceso de propuesta

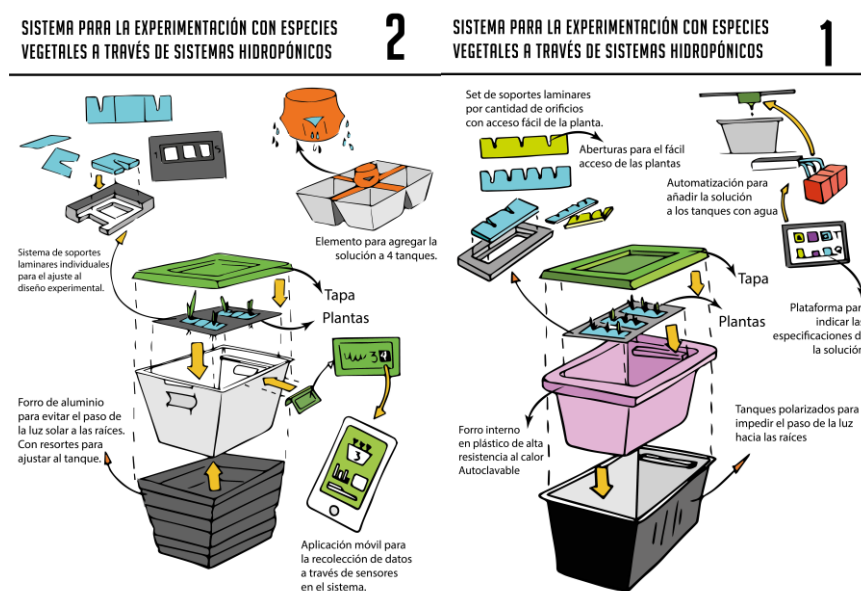


Figura 15 Propuestas de diseño iniciales para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación en fisiología vegetal de la universidad Icesi.

A partir de los requerimientos planteados y el brief que se generó, se plantearon dos propuestas de diseño que fueron discutidas de forma interna y se tomaron los atributos que se consideraron más deseables de cada una. De la primera se conservó el forro de aluminio para que los tanques no recibieran luz y de la segunda, los soportes flexibles con capacidad para varias plántulas y un soporte rígido que los contenga a todos. Seguidamente, se plantearon dos propuestas de solución más completas, pues en las iniciales no se estaba considerando que era necesario que se transportaran los contenedores a lo largo del laboratorio. Estas propuestas que se muestran en la siguiente figura fueron sometidas a pruebas de mercado con 6 estudiantes de biología de la universidad Icesi, de los cuales, dos de ellos estaban vinculados al laboratorio de fisiología vegetal.



Figura 16 Primeras propuestas de diseño para validación con usuarios.

Ambas propuestas contenían diferentes formas de añadir los nutrientes a los tanques con agua, pero la primera tenía una pantalla que permitía ver los mapas de ubicación de las plántulas en los soportes y la segunda, una herramienta que permitía que las ranuras en los soportes flexibles se abrieran solos y fuera más fácil el proceso y un el sistema para añadir los nutrientes integrado a un carro que transportaba todos los contenedores de los cultivos y permitía acceder a ellos fácilmente. En consecuencia, estos tres elementos fueron los que permanecieron en la propuesta de diseño. Por tanto, se realizó un modelo de baja de este sistema resultante, pero se evidenció que era demasiado grande como para poder moverse fácilmente dentro del laboratorio de investigación. Así que se replanteó una vez más la propuesta y a partir de esta se iniciaron las iteraciones con los usuarios reales.

Sprint 1



Figura 17 Prototipo 1 a escala 1:3 de la propuesta de solución de diseño para la realización de cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de fisiología vegetal de la universidad Icesi.

Esta propuesta 1 era un sistema que permitía transportar los elementos principales necesarios para realizar el cultivo hidropónico, con capacidad únicamente para 4 contenedores y para ser utilizado por una persona. A un extremo del sistema contenía dispensador de etanol para que los investigadores estuvieran constantemente esterilizando sus guantes, y un dosificador automático de nutrientes, hecho a partir de bombas peristálticas. Además, para el cultivo en crecimiento, se proponían tanques plásticos con forros de aluminio para evitar el paso de la luz y los soportes flexibles para ubicar las plántulas, y un soporte rígido por tanque para sujetar los demás soportes flexibles. El proceso de montaje se realizaría de forma más práctica con la herramienta que permite tener abiertos los orificios para ingresar las plántulas. Finalmente, para facilitar el registro de los datos se plantea el diseño de una aplicación que se conecta con los cultivos y brinda información constante de los cultivos, tales como el nivel de pH y temperatura, indicándole a los investigadores los momentos en los que deben atender el cultivo.

Al validar el componente físico con los 6 investigadores del laboratorio de investigación de fisiología vegetal de la universidad Icesi, toda la propuesta fue bien percibida por los usuarios, pues se percibía como un sistema práctico y completo.

También se validó la usabilidad de la aplicación móvil. Se realizó la prueba a 4 investigadores del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi, utilizando un prototipo de baja que permitía visualizar únicamente las tareas que se podrían realizar la plataforma y ver cuál sería la disposición de estas. Las

tareas presentadas fueron: bitácora, lista de tareas, novedades, creación de equipos, creación de proyectos y cronograma.

Las principales hipótesis planteadas en este acercamiento fueron las siguientes:

- Los usuarios identificarán en las novedades los diferentes experimentos que están llevando a cabo en el momento y cuál de éstos requiere su intervención con mayor urgencia.
- Los usuarios valorarán positivamente la lista de tareas y el cronograma.

Acerca de la primera hipótesis, solo 1 de 3 usuarios pudo identificar cuál de todos los proyectos necesitaba su atención con mayor inmediatez, por lo que se debía trabajar en la comunicación de este aspecto relevante para el investigador y control en tiempo real a distancia. La segunda hipótesis fue afirmada.

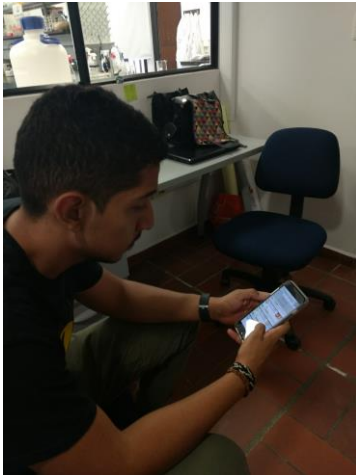


Figura 18 José Alberto Sánchez, investigador del laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi revisando el primer prototipo de la aplicación Himo.

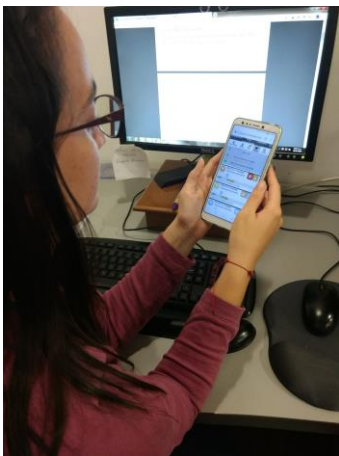


Figura 19 Juliana Chaura, investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, revisando el primer prototipo de la aplicación móvil Himo.

Otras observaciones realizadas por los investigadores fueron acerca de la seguridad en la aplicación para que sus datos siempre estuvieran seguros a través del respaldo en la nube. También sugirieron tener la posibilidad de cerrar sesión, ya que no quisieran que cualquier persona que llegara a encontrar sus teléfonos pudiera acceder a sus registros.

Algunas de las cosas que más les gustaron fueron el código de proyecto para añadir colaboradores, ya que esto les permite tener los registros unificados; la lista de tareas, la posibilidad de crear equipos y la percepción que tuvieron de que la aplicación ya tenía tareas predeterminadas y así podían ahorrar tiempo al no tener que escribirlas de nuevo cada vez que iban a replicar un experimento.

Sprint2

En esta segunda iteración se le presentó a 5 usuarios del Laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi, un prototipo de la aplicación de mayor resolución que en el anterior. En este podían realizar tareas y además ver aspectos gráficos de la aplicación.

Las tareas que podían realizar fueron las siguientes:

- Crear un equipo de trabajo nuevo.
- Compartir un proyecto a otro investigador a través del código de proyecto
- Crear un proyecto
- Ver su perfil
- Iniciar y cerrar sesión
- Añadir una tarea a la lista de tareas
- Ver, chequear y eliminar notificaciones

Específicamente se validaron las funciones que debía permitir realizar la opción bitácora. A través de este acercamiento se concluyó que se debía añadir la posibilidad de tener dictado de voz para evitar el agotamiento de los usuarios al realizar anotaciones, pues si ya generaba fatiga haciéndolo de forma manual con lápiz y papel, la causaría aún más al realizarlo en el teléfono móvil. También se acordó agregar la posibilidad de añadir fotografías y hacer comentarios sobre ellas. Además, poder adjuntar o crear protocolos, fórmulas y tablas, y tenerlos a disposición para futuras ocasiones donde los experimentos lo requieran.

Los usuarios valoraron muy positivamente la visualización de los perfiles y las notificaciones o alertas de los proyectos que llevan a cabo.

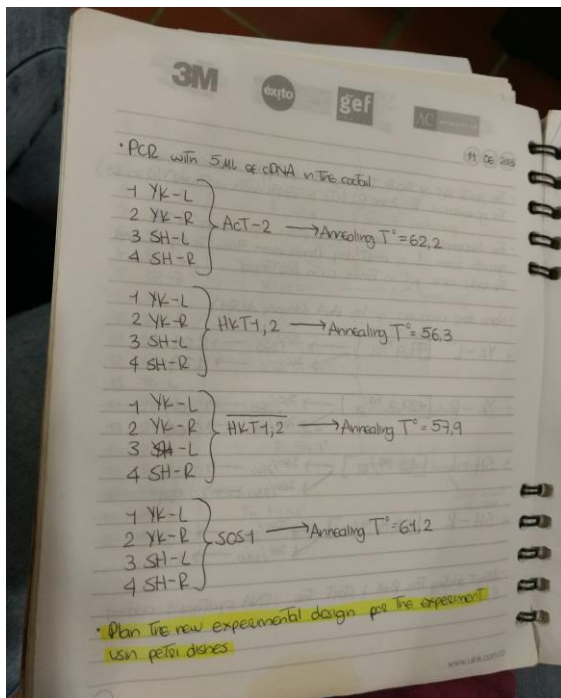


Figura 20 Sección de bitácora de apuntes de Juliana Chaura, año 2016 durante la realización de un proyecto en Purdue University, USA.

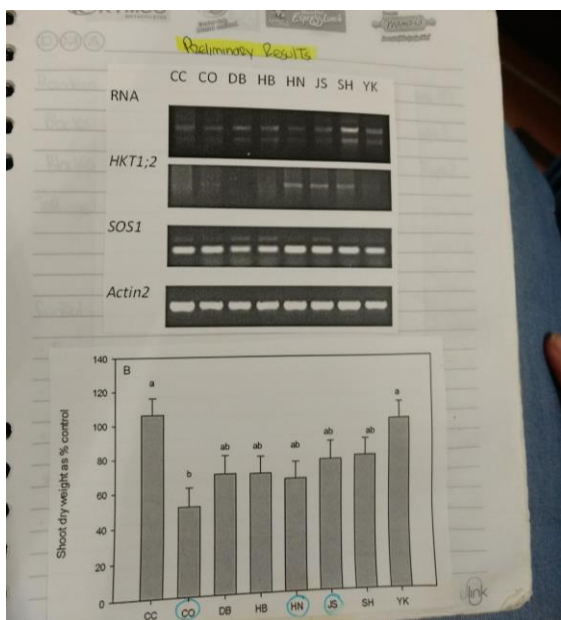


Figura 21 Sección de bitácora de apuntes de Juliana Chaura, año 2016 durante la realización de un proyecto en Purdue University, USA.

Las figuras anteriores muestran algunos de los elementos que debe permitir contener la aplicación en la sesión Bitácora, tales como gráficos, ecuaciones, fotografías, brindar la posibilidad de añadir títulos, resaltar, entre otros.

Sprint3

En este sprint se validaron los aspectos estéticos de la aplicación y se revisó de nuevo que tan intuitivo es la aplicación. Se descartaron funcionalidades que no aportan nada al trabajo de laboratorio con la existencia de perfiles y aspectos estéticos, que variaban de un investigador a otro, para unos investigadores la personalización con elementos como stickers, emoticones y elementos visuales era favorable como también para otros investigadores no era relevante y eran más bien un caso de distracción.



Se reitero en la seguridad, por cuestiones que se les pueda perder o ser robado y que la aplicación funcione en un segundo plano y tenga un código de seguridad cada que se cierra la aplicación, de esta forma aseguran que su investigación tiene acceso restringido al público.

Los resultados y aportes por parte de los investigadores es las diversas aplicaciones de esta tecnología en términos educativos el hecho de tener un progreso durante la etapa de investigación y al ser registrado mediante tareas esto puede usarse con los chicos de semillero añadiendo roles de profesor y estudiantes de esta forma los profesores pueden asignar tareas que deben cumplir los estudiantes y ambos conocen el progreso de las actividades realizadas, también facilitaría como medio que los estudiantes de semillero constantemente consulten a los investigadores pues la lista de tareas también es una guía de que deben realizar en los tiempos que son.

Sprint4



Figura 22 Luz Andrea Gómez, estudiante en proyecto de grado con el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi sujetando una plántula de arroz para ubicarla en el prototipo de baja de herramienta de apoyo para el paso de las plántulas a los soportes (elemento en cartón) y prototipo de baja de los soportes flexibles (elemento en color fucsia).

En esta iteración se continuó la validación del componente físico a escala real desde la herramienta de apoyo para el montaje de las plántulas en unos soportes flexibles con capacidad para 6 plántulas y con cortes hasta el extremo más cercano a los usuarios, de modo que la herramienta permitía curvar el soporte y dar apertura a los orificios en los soportes para que las plántulas ingresaran de frente al usuario, no desde abajo hacia arriba como enhebrando una aguja.

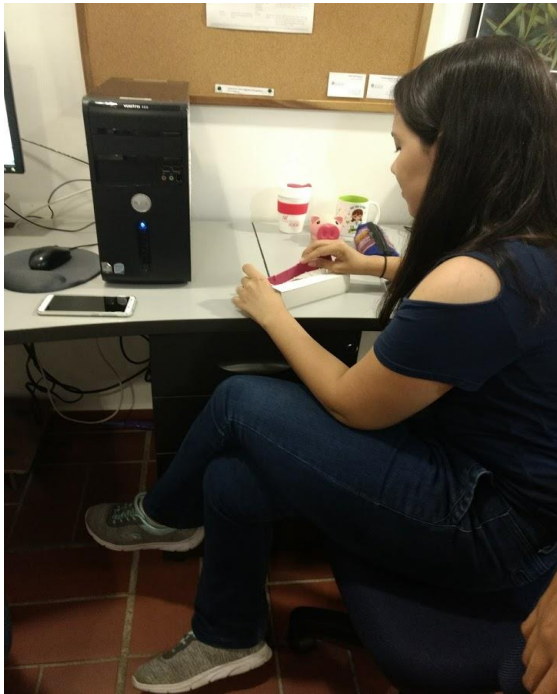


Figura 23 Luz Andrea Gómez, estudiante en proyecto de grado de pregrado con el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, ubicando el soporte flexible en la herramienta de apoyo para el montaje de las plántulas en los soportes.

La prueba se realizó con 6 usuarios que utilizaron el prototipo de baja que se utilizó para indicar la función y la dimensión del objeto con los usuarios y las plantas. Inicialmente se les explicó la secuencia de uso del producto, ya que solamente con verlo no comprendieron la función que cumplía el objeto, al ser una herramienta completamente nueva. Seguidamente, lo utilizaron y se presentaron varios patrones de uso que no estaban previamente diseñados que sugirieron los cambios a realizar. El primero de estos, fue que el elemento lo utilizaron apoyados sobre el área más grande, como lo muestra la figura anterior, que era la de la vista posterior y no la base de la herramienta, pues debían ejercer fuerza y control sobre la herramienta y el soporte flexible y si lo apoyaban sobre el área inferior, se les caía el elemento. Esto quiere decir que se debe aumentar el área de apoyo, tener un mejor acceso del soporte en la herramienta y dejarla fija a la superficie de apoyo para que no se les mueva y puedan únicamente ejercer control sobre el soporte flexible. Finalmente, se decidió darle una inclinación a la herramienta para poder visibilizar mejor tanto la parte inferior de la planta como la superior y los usuarios hicieron la anotación acerca de que cómo estaba planteada la herramienta, no era posible tener el agua para ellas y que no sufrieran estrés en este proceso, lo que quedó pendiente por solucionar.

Acerca del soporte flexible, se les dificultó identificar el lado derecho de uso, por lo que es necesario añadirle displays que indiquen el lado que va hacia arriba y el lado por el que se ingresa a la herramienta de apoyo. También presentaron

dificultad al agarrar el soporte, pues no tenía espacio suficiente que sobresaliera de la herramienta, considerando que además ya había que estirarlo un poco. Esto tiene como consecuencia en el diseño, que se le añadan agarres a los extremos, pero también que se reduzca la capacidad de los soportes en número de plantas. A esta última observación los usuarios no presentaron inconvenientes, por el contrario, afirmaron, que en ocasiones ubicaban menos plántulas por tanque para que cada una tuviera más espacio para su crecimiento. Se concluyó que el número mínimo serían 30 plántulas por tanque y máximo 50.



Figura 24 Prototipo de baja que muestra un fragmento del soporte rígido y cómo quedarían ubicados los soportes flexibles con las plántulas y quede el cultivo por raíz flotante.

Respecto al soporte rígido que sostiene los diferentes soportes flexibles, fue bien recibido por los usuarios y se confirmó que el espacio que tendrían las raíces al ser retiradas es suficiente, pues, aunque aumentan en tamaño durante la etapa de crecimiento, el agua hace que se adhieran unas a otras y salgan sin problema.

En general, la herramienta la percibieron como diferente y útil, pues les brindaba el espacio adecuado para ingresar las plántulas, hacerlo más rápido, cuidaban las plántulas y ambos elementos son esterilizables, es decir que generarían un mejor aprovechamiento del tiempo.

En esta etapa se realizaron las primeras pruebas de los componentes electrónicos conectados que van enlazados con los cultivos, se interconectó el sensor de temperatura y humedad, junto con el Arduino Uno y la placa de ethernet, protoboard y por medio de cables dupont se hicieron los circuitos, el código se desarrolló en Arduino y al momento de correr el código quemado en el Arduino con el código de la aplicación hubo problemas de conexión como resultado ya que no podíamos crear una página estática en http porque teníamos restricciones por la red de la universidad.

Sprint5

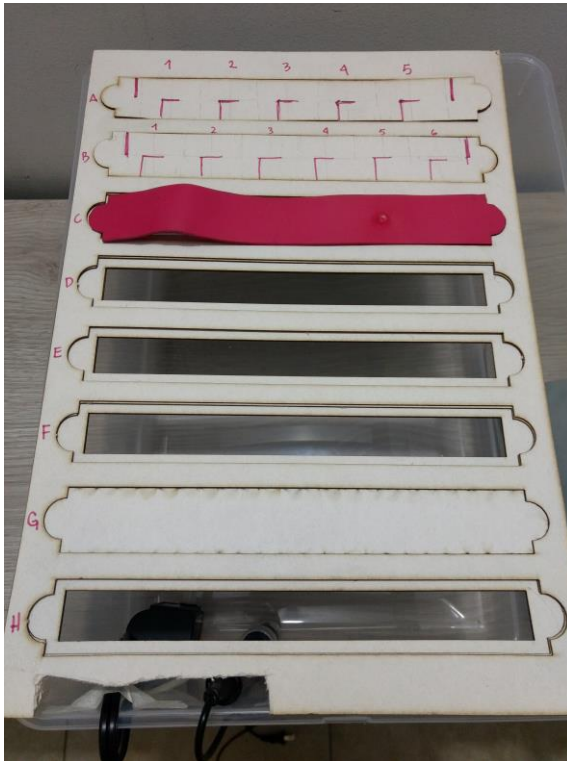


Figura 25 Prototipo de baja del soporte rígido con la simulación de lo que serían los soportes flexibles y la ubicación de una bomba de recirculación de agua y el pH metro.

Para esta validación se realizó el prototipo completo de lo que sería el cultivo, integrando los soportes, las plantas, una bomba de recirculación de agua, para mantenerla mejor oxigenada y un pH metro para monitorear el nivel de pH en el agua constantemente a través de la aplicación móvil.

La validación se realizó únicamente con un usuario del laboratorio de investigación de la universidad Icesi, ya que era una ampliación de lo que los usuarios habían visto en la validación anterior y no se requería que los investigadores validaran el uso de los elementos, sino, si estos estaban cumpliendo los requerimientos del cultivo.

De acuerdo con esto, acerca de los soportes flexibles, fueron percibidos de mejor manera, ya que ahora tenían las pestañas para brindar un mejor agarre y la ubicación en el soporte rígido era clara. Acerca de este último, también fue bien acogido, a excepción de que se estaba planteando que estuviera sujetado a la estructura del tanque, pero los usuarios necesitan que este cambie de altura, conforme va cambiando la altura del agua con los días. A pesar de que cada tres días el agua vuelve a estar en la cantidad inicial y la evaporación puede llegar a ser poco perceptible, la rigurosidad con la que se requiere realizar el experimento hace que se deba tener en cuenta los mililitros que se evaporan con el paso del tiempo; es decir que, uno de los cambios a ejecutar fue el método en el que se sostiene el soporte rígido en el tanque. Esto implicaba pensar en el material también, ya que inicialmente, estaba planteado que fuera hecho en acero inoxidable ya que es resistente y esterilizable, así que se replanteó para que estuviese hecho de polipropileno.

Por último, acerca de la bomba de agua y el pH metro, se aclaró que este último no puede ir sumergido completamente en el agua, sino, solo una parte de él para que pueda conservar sus características con el paso del tiempo. Acerca de la bomba de agua, indicaron que esta no funciona en el sistema, ya que, aunque hace burbujas que generan oxígeno en el agua, también generan contaminación en menos tiempo. Los investigadores anteriormente ya habían utilizado este tipo de equipos y debido a esto, habían dejado de utilizarlos, solo que no había sido mencionado en el trabajo de campo. En consecuencia, se descartó la posibilidad de utilizarlos, a pesar de que existe la opción de hacer un desarrollo de una de estas bombas para que sea desarmable y esterilizable, pero debido a que esto se sale de los alcances del proyecto de diseño y los usuarios manifestaron que esta no era una de sus prioridades a intervenir en el proyecto, se descartó la intervención en la mejora de la oxigenación del agua.



Figura 26 Tanque con agua y una bomba sumergible de recirculación de agua a la izquierda y un pH metro a la derecha.

Respecto al desarrollo del componente digital, en este sprint se validó la generación de mapas de ubicación de semillas y genotipos, que el algoritmo funcionara correctamente y que graficara la posición en la que debe ir cada genotipo. Realizando el algoritmo encontramos que había un error ya que las variables utilizadas en la generación de los tanques son el número de réplicas, número de genotipos y número de tratamientos, el número de tratamientos indicia cuantos tratamientos se van a aplicar en el experimento, por cada tratamiento debe haber un tanque con la cantidad de réplicas que requiere el investigador por la cantidad los genotipos organizados de forma aleatoria en cada tanque esta labor es importante ya que demuestra representatividad estadística y valida el proceso de investigación como la comprobación de las hipótesis planteadas antes del experimento. El problema identificado con el algoritmo correspondía a que la repartición de los genotipos en los tanques estaba mezclando los genotipos de los tanques de tratamiento como en los tanques de control.

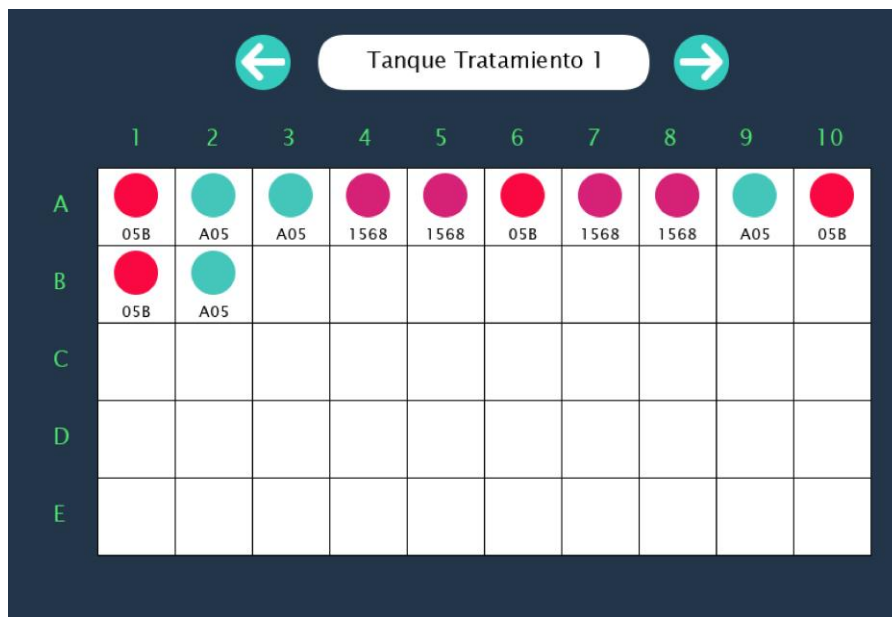


Figura 27 Prueba de generación de mapas de ubicación de las plántulas desde el software desarrollado

Sprint6

A lo largo del proceso, los elementos planteados para el sistema móvil se fueron profundizando en su fabricación, costos y consultando con los investigadores lo que consideraban mejor. A continuación, se describe la evolución de cada uno de los elementos.

- **Dispensador de etanol:** Este estaba pensado para hacer más práctico el acceso a este producto de uso constante por los investigadores. La problemática encontrada, fue en el tamaño del dispensador, pues era bastante grande para las medidas máximas posibles para el sistema móvil. También encontramos que no solamente hacían uso frecuente de este líquido, sino también de otros como hipoclorito, agua destilada, haciendo imposible plantear que cada químico tuviese su propio dispensador, además de que estos no eran utilizados solo para las manos, sino también para los diferentes elementos del sistema que lo requirieran en el proceso de montaje.
- **Dosificador de nutrientes:** Este estaba planteado para realizarse a través de bombas peristálticas y efectivamente, encontramos que es posible de realizar, pero además que existen empresas que ya los realizan, entre ellas una empresa caleña llamada Smartlabs. Una de las razones para utilizar estas bombas es que el líquido que absorbe no tiene contacto con el mecanismo succionador y además los tubos por los que fluye, pueden cambiarse y si se escogen del material adecuado, esterilizarse. Sin embargo, estas bombas también eran de un tamaño considerado grande para las cantidades tan pequeñas (microlitros) que necesita cada tanque de

cultivo. Se encontraron otras soluciones similares y se contempló la posibilidad de desarrollar el diseño propio para llevar a cabo esta función, pero esto se salía de los límites temporales del proyecto. También se cotizó la compra de estos mecanismos, pero fue juzgado por los usuarios como demasiado costoso para una labor que no es tiene tanto impacto negativo en el proceso de montaje, tanto en términos de productividad como de experiencia.



Figura 28 Sistema dosificador a través de bombas peristálticas con 5 fuentes alimentadores. Obtenido de hcslab.trustpass.alibaba.com

A partir de esto, se determinó no abordar esta actividad desde la automatización, sino desde la agilización a través de la organización y disposición de los elementos, pues estos, como se mencionó en el trabajo de campo, se encontraban en una zona diferente a la que se ubicaban para ser dispensados.

- **Sistema móvil:** Este, como se mencionó anteriormente, contenía el sistema dosificador de nutrientes, dispensador de etanol y permitía transportar los tanques con agua y las plantas, con el fin de centralizar el trabajo. Con el proceso de análisis de los diferentes elementos y las necesidades de los usuarios, se llegó a la conclusión de que los investigadores no necesitaban un elemento para transportar otros elementos, sino un puesto móvil de trabajo que les permitiera organizarlos y hacer uso efectivo de ellos. Ya que, requieren de una zona donde realizar el proceso de montaje de las plántulas, dado que el lugar donde se dejan los cultivos en crecimiento no está ubicado en el mismo laboratorio de fisiología vegetal y considerando que la localización a futuro o en otros laboratorios

puede cambiar. Esto se encuentra alineado con las causas del problema, que es que cada labor se realiza en un espacio de trabajo distinto, o podrían realizarse en el mismo, pero implicaría tomarlas desde tu ubicación actual y transportarlas, por esto, un puesto de trabajo haría más productivo el proceso de montaje y mejoraría la experiencia de los usuarios a lo largo del mismo.

Considerando el análisis y las decisiones anteriores, se plantea la versión 2 de la solución completa de diseño, en la que el carro permite contener los mismos 4 contenedores, pero estos están ubicados en una segunda plataforma, la tercera siguen siendo cajones para almacenar elementos y la primera ha pasado a ser toda una zona de trabajo que puede ser utilizada por dos personas, en la que los investigadores pueden realizar cómodamente el proceso de montaje de las plántulas, acceder a los nutrientes y diferentes atomizadores, junto con otros elementos tales como pinzas, micropipetas, guantes y tapabocas.

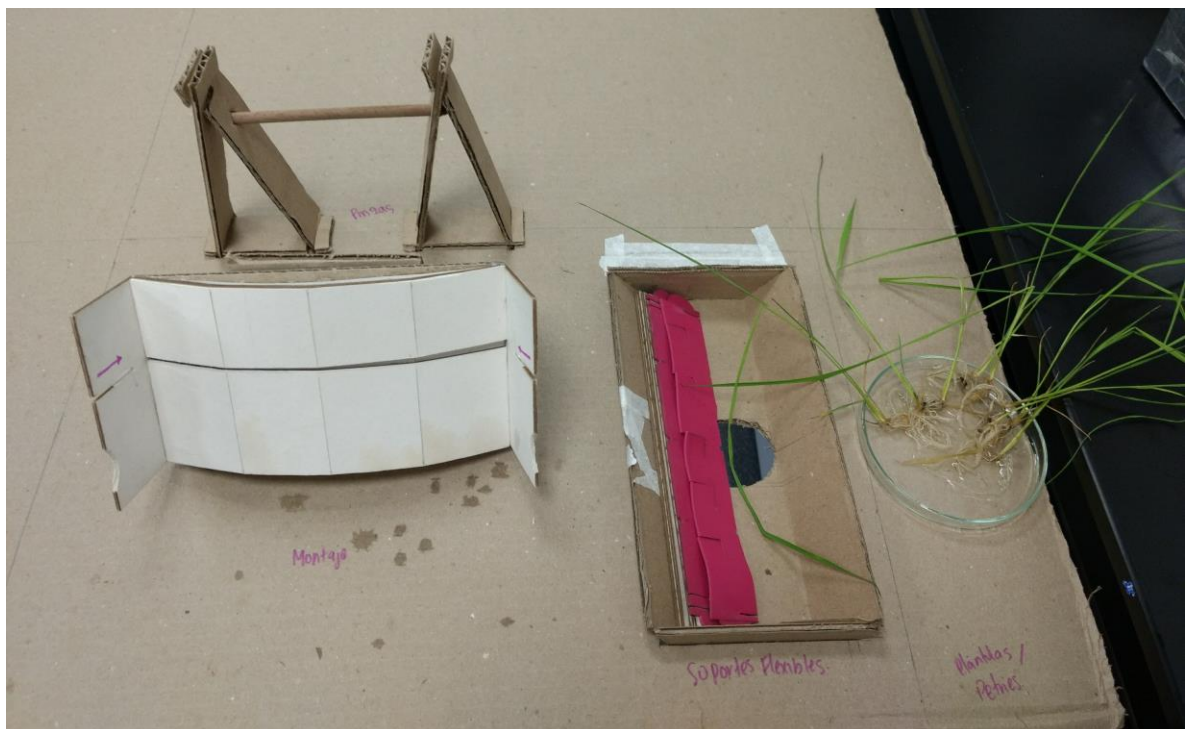


Figura 29 Prototipo 2 del sistema móvil. Simulación de un puesto de trabajo para la actividad de montaje de las plántulas en los soportes.

Esta iteración se realizó con un usuario y consideró favorables los cambios implementados. Al vivir la experiencia de realizar el montaje, completo en el contexto real, le sorprendió ver que no necesitaba utilizar las pinzas para ubicar las plántulas, pues estas las requería para abrir los orificios y ubicar la plántula, pero con la herramienta de apoyo, ya tenía los orificios abiertos y pudo realizar la

actividad mucho más rápido y sin lastimar las plántulas. Por otro lado, al añadir a los soportes flexibles unas ranuras que limitan la dirección en la que se ubican estos en la herramienta, pudo identificar más prontamente el sentido correcto.

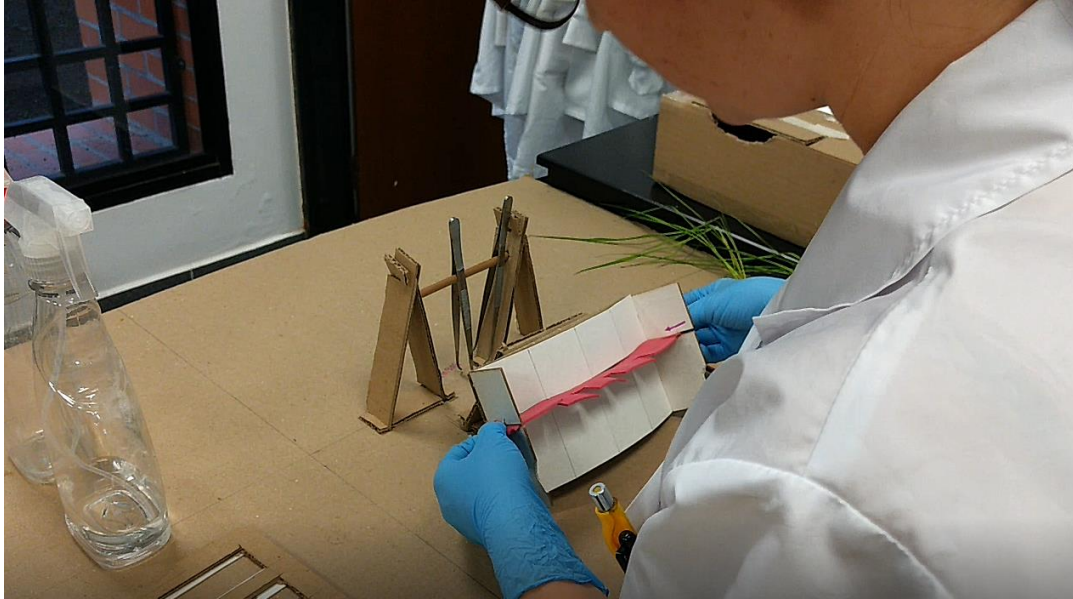


Figura 30 Juliana Chaura, ubicando un soporte flexible en la herramienta dispuesta para ello. A la izquierda, simulada la zona en la que estarían ubicados los diferentes atomizadores.

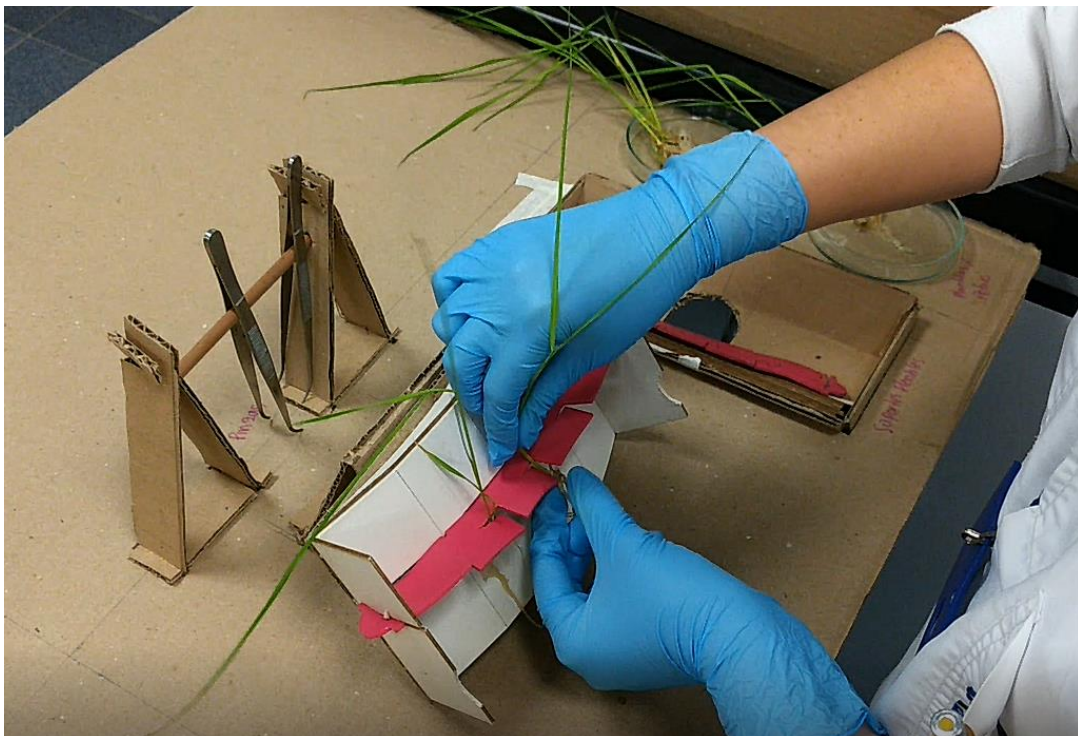


Figura 31 Investigadora del laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi, realizando el montaje de una planta en un soporte flexible con el prototipo de puesto de trabajo.

La figura anterior permite ver cómo los orificios de las plántulas se encuentran abiertos desde que el soporte es ubicado en la herramienta de apoyo y, aun así, se logran sostener en él. Un aspecto para mejorar a este prototipo es que la herramienta debe contener agua en la parte inferior al soporte flexible para evitar que las plantas sufran estrés.

Los requerimientos de los investigadores es poder exportar los mapas generados a Excel ya que es una de las herramientas complementarias que usan para el registro de la información, toda la información generada debe poder transportarse de un dispositivo a otro en los formatos Excel, PDF o Word. En este sprint se validó que cada mapa generado creara un archivo Excel con el nombre de mapa correspondiente donde contenga los genotipos aleatorizados en lista y la totalidad de genotipos utilizados.



1	Genotipos
2	1568
3	1568
4	1568
5	1568
6	Base 05
7	Geno A
8	1568
9	Base 05
10	Base 05
11	Base 05
12	Geno A
13	Geno A
14	Base 05
15	Geno A
16	Geno A
17	Geno A
18	1568
19	1568
20	Geno A
21	Geno A
22	Geno A
23	Base 05
24	1568
25	1568
26	Geno A
27	Base 05
28	1568
29	Base 05
30	Base 05
31	Geno A
32	Base 05
33	Base 05
34	Base 05
35	Geno A
36	1568
37	1568
38	
39	

Figura 32 Excel generado con la lista de genotipos en la prueba de usuario para generar mapas de ubicación de las plántulas en los cultivos hidropónicos.

Sprint7

Para este último avance se consideró la utilidad de mantener los tanques en el puesto de trabajo, ya que hasta donde estaba propuesto, únicamente se estaban transportando, más no estaban vinculados directamente con algún otro componente dentro del sistema. Además, de que al considerar los requerimientos formales y de identificación, el diseño no los estaba cumpliendo, ya que era un sistema muy robusto y pesado, debido también al volumen que ocupaban los contenedores. Debido a esto, se determinó que ya no estarían más en el sistema y así, su capacidad ya no estaría determinada por la cantidad de tanques que puede transportar, sino por el número de personas que pueden trabajar en él. Esto favorece el diseño, ya que el cultivo puede ser tan grande como los investigadores lo deseen y que existan varios investigadores cada uno con su puesto de trabajo, dedicándose a realizar diferentes tareas del proceso y convertirse en un proceso en serie.

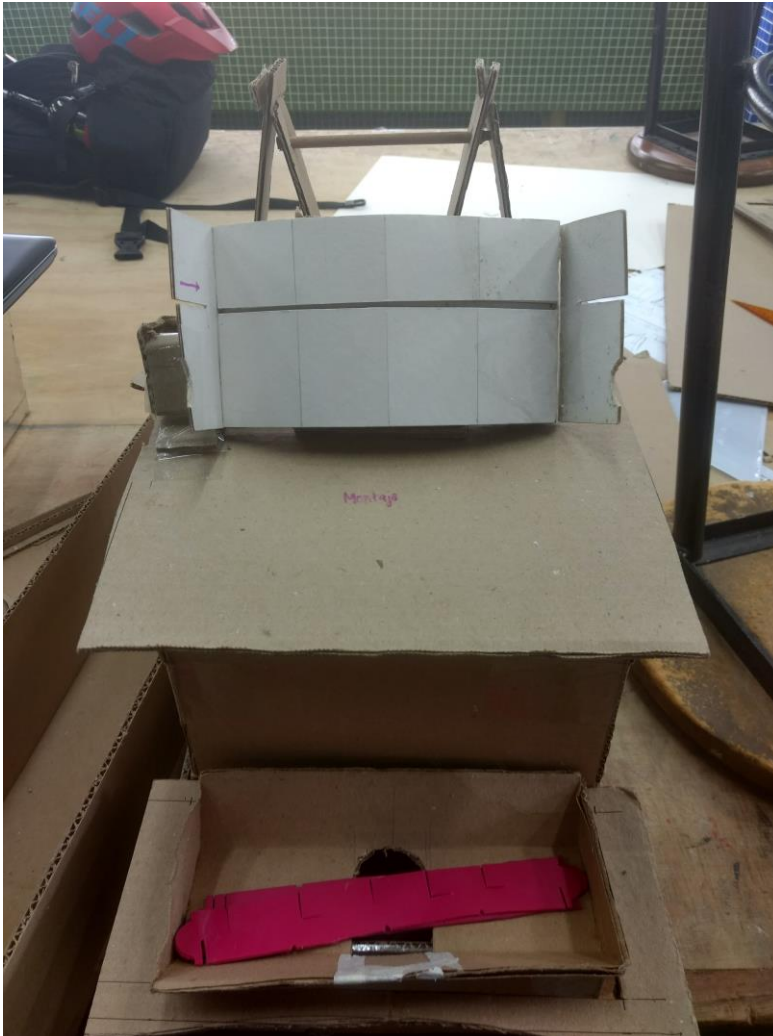


Figura 33 Prototipo 3 del puesto de trabajo para realizar cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi.

En estos términos, para esta nueva versión de diseño se conservan las funciones del anterior prototipo, exceptuando la capacidad para transportar los tanques. Para la actividad de montaje se ajusta la altura de la superficie de trabajo, ya que esta labor requiere mayor esfuerzo visual, esto también es favorable ya que permite aprovechar el espacio hacia arriba y reducirlo en los laterales, para hacer más ágil y dinámico el puesto de trabajo.

El código se reestructuro, se optimizo, las variables de colores se manejan de manera global, componentes de retroalimentación visual en los campos de escritura se añadieron desde el diseño de la app móvil, en el código del componente electrónico se añadieron los botones, el circuito se cambió de ser circuito en serie a paralelo para poder tener presencia de varios botones, se añadió el código para calibración del pH-metro, cambio de pantalla para mostrar la información de un tanque u otro.

Propuesta



Himo es el nuevo sistema interactivo para la realización de cultivos hidropónicos con especies vegetales en laboratorios de investigación en fisiología vegetal. Con Himo los investigadores podrán realizar sus experimentos con diferentes especies vegetales, utilizando la cantidad de plantas que deseen, realizando el montaje de las plántulas de forma rápida y efectiva y cuidando las plántulas en cada parte del proceso, al tener el trabajo centralizado y hacer uso de herramientas diseñadas exclusivamente para llevar a cabo esta labor. A su vez, Himo se adapta al diseño estándares de los laboratorios y modula cada vez que se trabaja en equipo, reduciendo los esfuerzos físicos y la cantidad de tiempo invertido en el proceso de

montaje del cultivo al tener también elementos reutilizables y autoclavables. Además, podrán conectar los cultivos a un set de sensores que les brindarán en tiempo real todo lo que necesitan saber acerca de estos a través de Himo app, sin tener que desplazarse a averiguarlo por sí mismos, para así reducir las probabilidades de error, la incertidumbre y seguir aportando mejores y más resultados de sus investigaciones en menor tiempo. Con la aplicación de Himo, no solo tendrán al alcance el estado actual de los cultivos, sino que también podrán colaborar con otros investigadores en los proyectos, generando así una fuente única de la información, haciéndola más accesible y fácil de analizar para mejorar las prácticas de laboratorio o replicar experimentos. Una vez terminado un proyecto cada experimento este pasa a ser parte del historial de proyectos.

Secuencia de uso

1. Planeación:

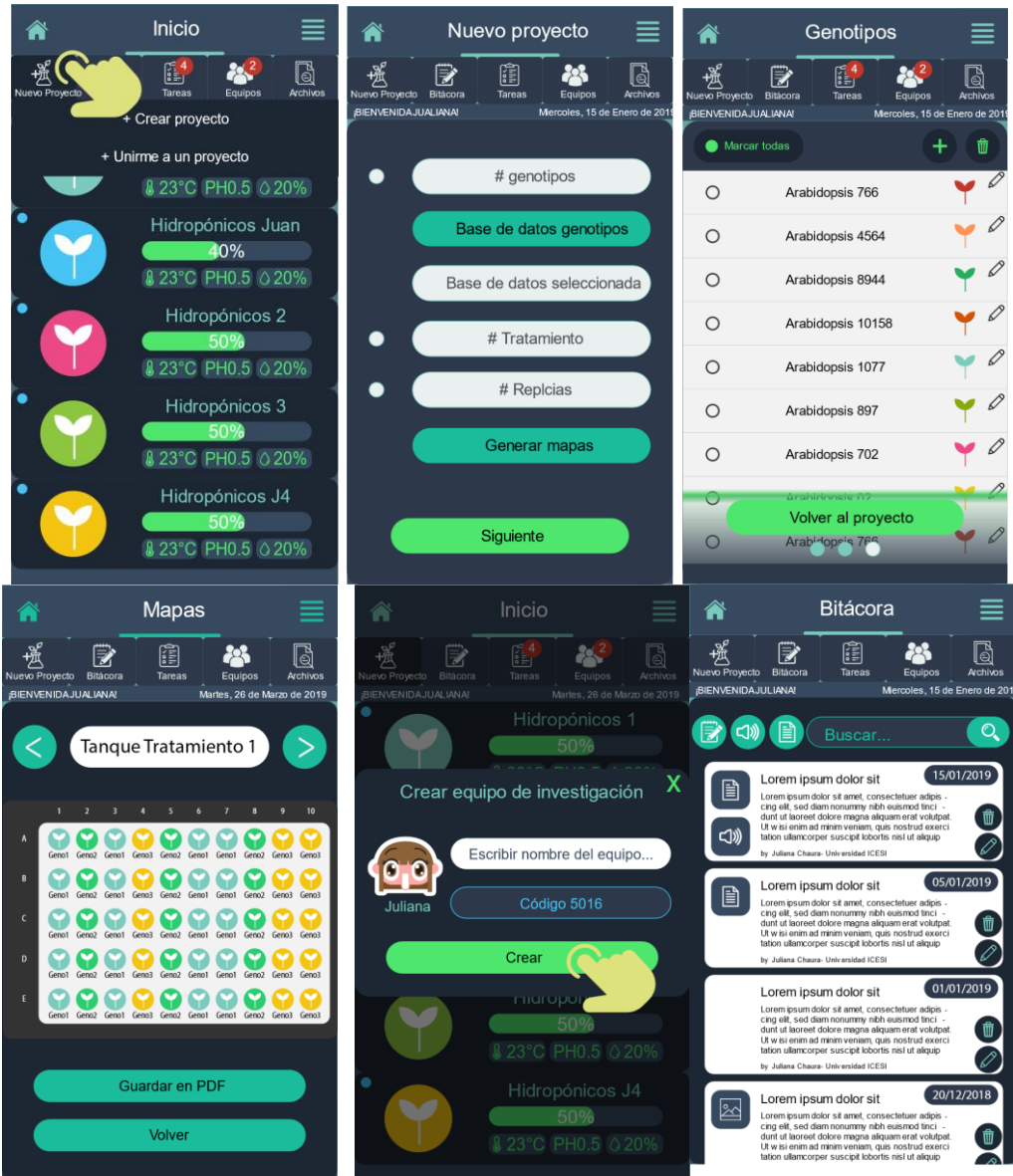
Desde la planeación los usuarios pueden hacer uso del sistema de tareas para llevar un control del experimento, también cuando los usuarios definen el tiempo de experimento, pueden crearse grupos preestablecidos desde antes de tener proyectos para agilizar la asignación de proyectos y equipos, se puede tener varias bases de datos de genotipos preestablecidas para los diferentes proyectos que puedan surgir.



Imagen lista de tareas aplicación.

2. Creación del proyecto:

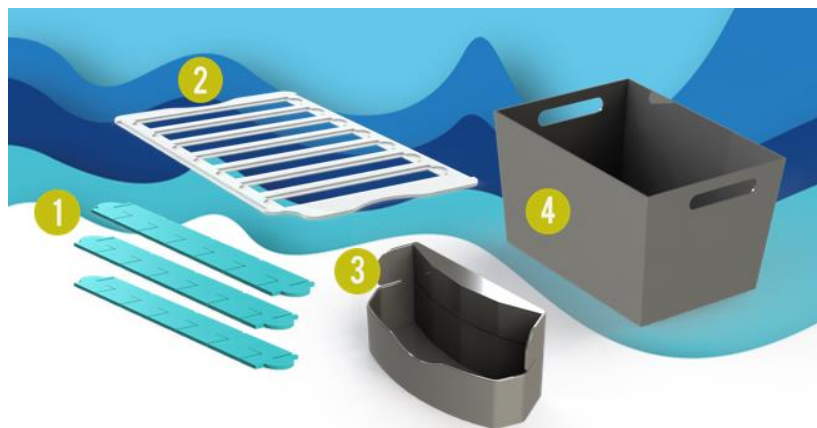
Crear un proyecto puede tardar menos de 5 minutos, para crearlo se requiere que un investigador, asigne un nombre al proyecto, vincule un equipo de trabajo genere los mapas de ubicación de plantas, añada una bitácora y tareas; por último establezca fecha de inicio y de fin y comienza a correr el experimento en la fecha indicada. Desde el momento en que se crea el proyecto los investigadores que hacen parte del equipo de trabajo vinculado pueden empezar a escribir información en la bitácora del experimento.



Pantallas secuencia de uso aplicación.

3. Preparación de los tanques:

Inicialmente, los investigadores deberán llevar los elementos esterilizables en autoclave al almacén de laboratorio, el cuál es el encargado de llevar a cabo este proceso. Utilizarán los elementos que sean necesarios, por ejemplo, para una persona que realizará el montaje y hará un cultivo para 150 plántulas, deberá utilizar 4 contenedores, 4 soportes rígidos, 28 soportes flexibles y 1 herramienta para el montaje.



Nota. 1: Soportes flexibles de silicona con capacidad para 6 plántulas. 2: Soporte rígido de polipropileno para ubicar los soportes flexibles, con capacidad para 7 de estos. 3: Herramienta de apoyo para realizar el montaje de las plántulas en los soportes flexibles, hecha en acero inoxidable. 4: Tanque contenedor de los cultivos, hecho en acero inoxidable.

Figura 34. Paso 3 de la secuencia de uso de Himo. Elementos autoclavables del sistema.

El usuario únicamente deberá acercarse a reclamar los elementos esterilizados justo antes de iniciar el montaje.

Posteriormente, se ubican los tanques para cultivos en carros de laboratorios para ser llenados con agua y ubicarlos en el sitio donde se llevarán a cabo las etapas de crecimiento y tratamiento del cultivo.

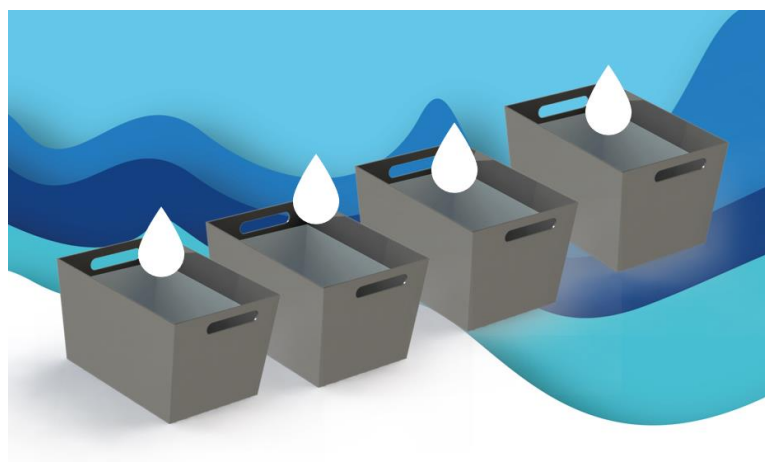


Figura 35. Paso 3 de la secuencia de uso de Himo. Tanques contenedores de los cultivos llenos con agua destilada.

4. Abastecimiento del puesto de trabajo:
El usuario debe abastecer el puesto de trabajo Himo con los elementos necesarios para realizar el montaje, es decir, con los nutrientes, la micropipeta y caja de puntas, los diferentes atomizadores con químicos y agua, las cajas Petri con las plántulas, los soportes para las plántulas, guantes, tapabocas, pinzas, sistema de monitoreo y teléfono móvil. Además, ajustando todo a sus preferencias, de acuerdo con su altura y mano dominante.

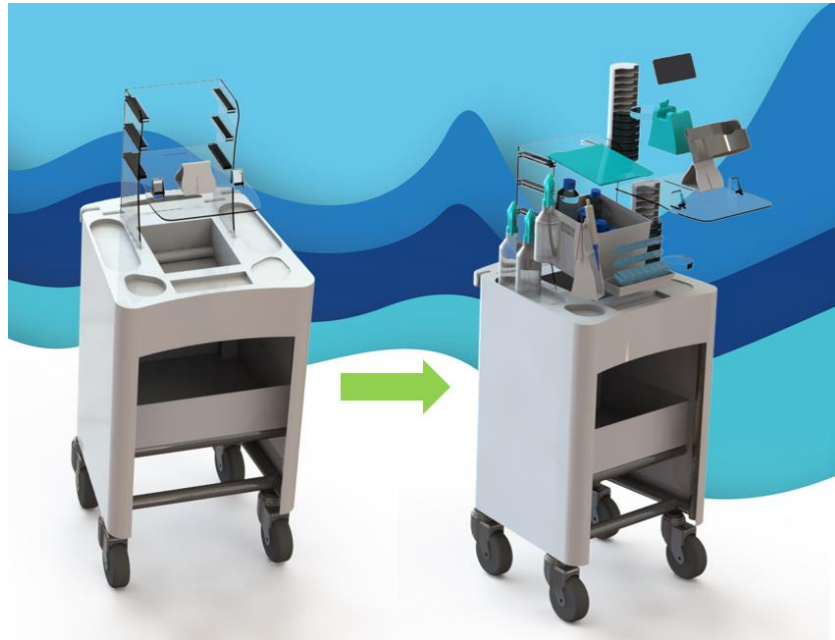
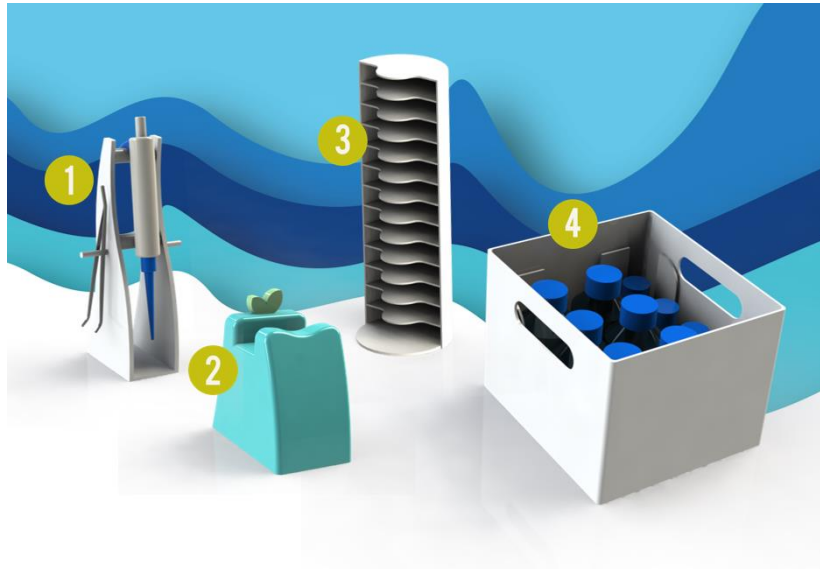


Figura 36 Paso 4 de la secuencia de uso de Himo. Abastecimiento del puesto de trabajo.



Nota. 1: Soporte para pinzas (máximo 4) y micropipeta. 2: Soporte para celular. 3: Soporte para cajas Petri de máximo 2cm de alto y 10cm de ancho. 4: Contenedor de nutrientes.
Figura 37 Algunos de los elementos con los que se puede abastecer el puesto de trabajo Himo.

Específicamente el contenedor de nutrientes, primero se recubre el interior con el forro de aluminio; después, se ubican los frascos con los nutrientes al interior, en el orden asignado por los investigadores, se tapa y finalmente se procede a ubicarlo en el puesto de trabajo.

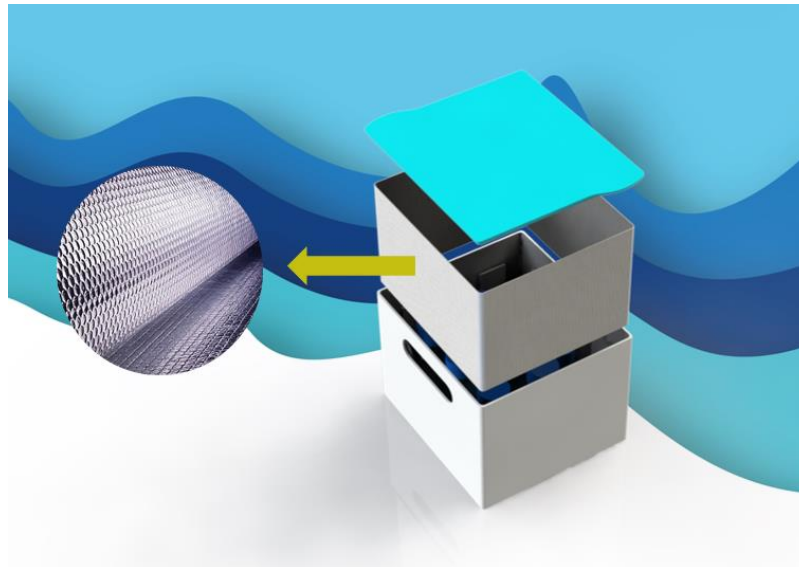


Figura 38 Explosión del tanque de nutrientes Himo.

5. Añadir nutrientes:
Una vez ubicado el puesto de trabajo al lado de la mesa con los tanques llenos de agua, para añadir los nutrientes, el usuario debe retirar la tapa del contenedor de estos y en el orden indicado ir destapando el que va a añadir haciendo uso de la micropipeta y la caja de puntas.

De acuerdo con la altura del investigador, podrá ubicar la superficie para hacer el montaje de las plántulas en la altura máxima, o por fuera del puesto de trabajo, buscando su mayor comodidad.

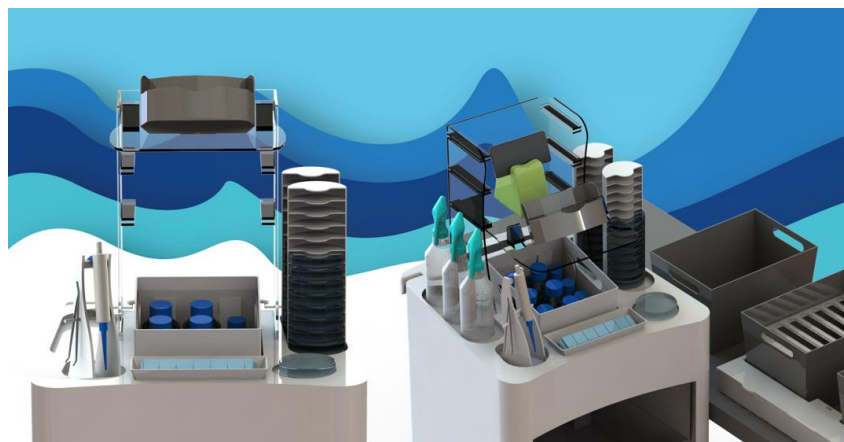
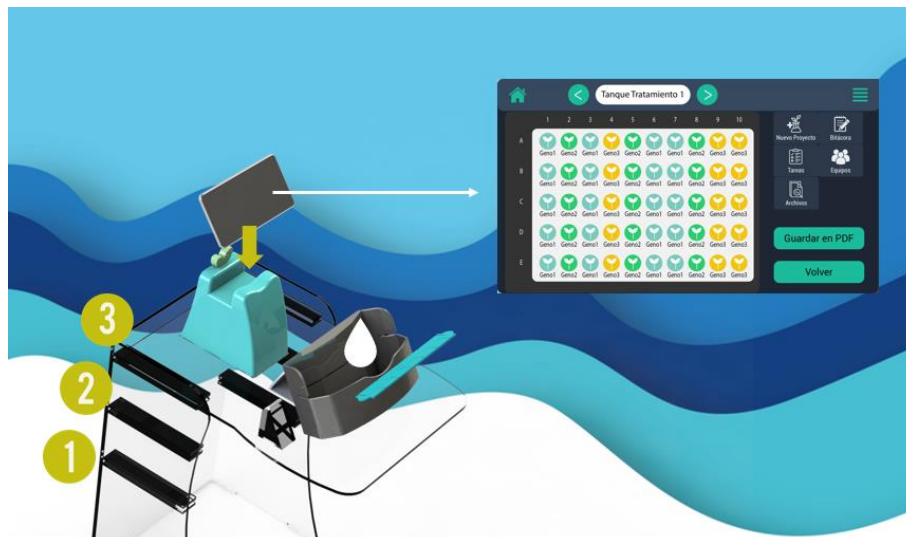


Figura 39 Paso 5 de la secuencia de uso de Himo. Añadir los nutrientes a los tanques con agua

6. Hacer montaje de las plántulas:
Para hacer el montaje de las plántulas, inicialmente se ajusta la superficie de montaje de modo que quede a la altura más adecuada a la vista del investigador.

A continuación, ubica la primera caja Petri con las plántulas en el espacio indicado para ello, dejando la tapa en el contenedor de Petris; llena con agua la herramienta de apoyo para el montaje de las plántulas; ubica su teléfono celular en el soporte para este, mostrando en la aplicación Himo los mapas de ubicación por genotipos de las plántulas.



Nota. 1: Altura mínima para la superficie de montaje. 2: Altura media para la superficie de montaje. 3. Altura máxima para la superficie de montaje.

Figura 40 Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Montaje de las plántulas.

Seguidamente, toma uno de los soportes flexibles y lo ubica en la herramienta de montaje e inicia el proceso de ubicación de las plántulas en cada ranura de los soportes flexibles que estarán abiertas, de modo que no es necesario el uso de las pinzas para este procedimiento, pero se deja a criterio del investigador.

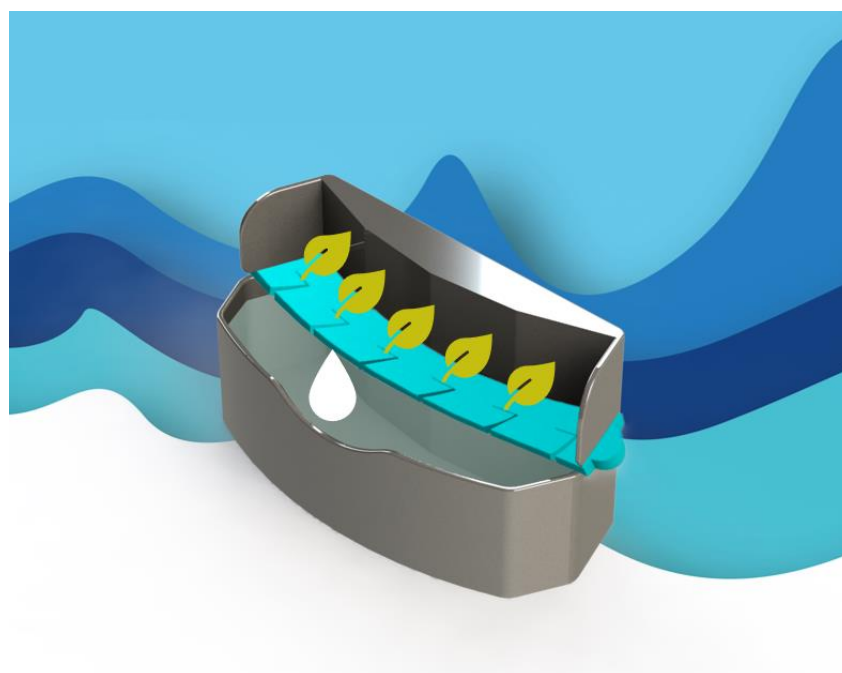


Figura 41 Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Ubicación del soporte flexible en la herramienta de apoyo para montaje y simulación de las plántulas

Finalmente, ubica los soportes con las plántulas en los soportes rígidos que se dejan flotando sobre el agua que está en los contenedores de acero.

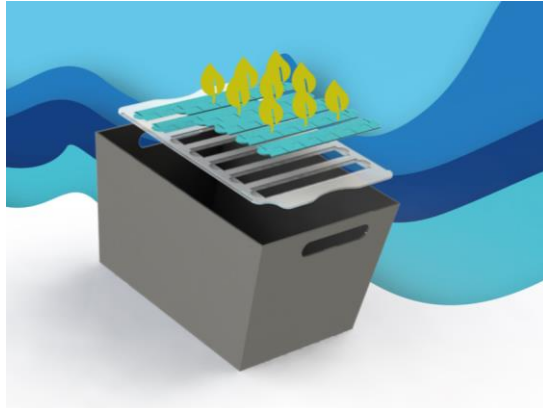


Figura 42 Paso 6 de la secuencia de uso de Himo. Ubicación de los soportes flexibles con las plántulas en los soportes rígidos.

7. Preparar sistema para hacer monitoreo:
En este punto del experimento se ubican los sensores de pH metro en cada tanque a medir y desde la aplicación se puede activar o no el registro de cada tanque entrando en la opción de sensores y activando o desactivándolo con un el suich de cada sensor.
En los cultivos se inserta dentro del agua el PH metro y el sensor de temperatura y humedad se activan desde el sistema físico, cuando enciendan los leds significa que el sensor está recibiendo energía y en la aplicación el sensor va a comenzar a recibir la información si esta activado ese sensor de lo contrario no va a registrar los sensores desactivados ya sea por propósitos de la investigación.
8. Monitorear los cultivos a distancia:
Se puede acceder a la ventana de sensores y se actualizara la información en tiempo real de los sensores ubicados en los cultivos hidropónicos, si los sensores detectan cambios bruscos en la temperatura PH y humedad los sensores van a enviar una notificación al usuario.

Aspectos de mercado y modelo de negocio

Actualmente en Colombia según Colciencias, las instituciones que brindan mayor apoyo a los grupos de investigación son las instituciones de educación superior, siendo al 2017 un total de 218 IES que cuentan con grupos avalados por la entidad. En segundo lugar, se encuentran otras entidades y, en tercer lugar, se

posicionan las empresas que pueden contar con su propia área de I+D o apoyar a otros centros investigativos. Esto nos lleva a identificar como cliente objetivo a las IES de Colombia que poseen laboratorios de investigación que tienen como objeto de estudio las especies vegetales cultivables en hidroponía, las cuáles son el 12% de las entidades totales. La siguiente tabla muestra la cantidad de grupos que podrían adquirir el sistema Himo, según el área de conocimiento de la OCDE⁸.

Tabla 5
Mercado potencial del sistema Himo

Área de conocimiento	No. grupos
Ciencias biológicas	369
Agricultura, silvicultura y pesca	155
Otras ciencias agrícolas	21
Biotecnología agrícola	9
Total	554

Como se evidencia en la gráfica, el mercado potencial total para la venta directa del sistema HIMO para realizar cultivos hidropónicos son alrededor de 554 grupos de investigación a nivel nacional. Es importante destacar que, en el 2014, 176 grupos pertenecientes a estas áreas del conocimiento eran categoría C, es decir, que tenían 2 o menos años de conformación, y al 2017 pasaron a ser 209, lo que indica que es un mercado en crecimiento. Añadiendo a esto la reciente insistencia gubernamental y empresarial por el fortalecimiento de la generación de conocimiento nuevo y diferenciado en el país.

Por otro lado, son 13.101 investigadores que al 2018 se encuentran vinculados a los diferentes grupos de investigación, de los cuales alrededor de 3.324 de se desempeñan en las áreas potenciales, si cada grupo cuenta con un mínimo de 6 investigadores. Es decir que 3.324 son el total aproximado de usuarios potenciales con los que contaría la plataforma digital en su versión completa con conexión al ecosistema de producto Himo.

A continuación, se detallan los perfiles de clientes del modelo de negocio y las razones para creer en el éxito en el mercado de Himo.

Cliente directo: Aunque el usuario final son los investigadores, el cliente principal son las Instituciones de Educación Superior, ya que estas son las encargadas de realizar la compra de los equipos para mejorar sus procesos internos. Himo está dirigido a universidades ubicadas en Colombia, con buen presupuesto de inversión

⁸ OCDE: Organización para la corporación y el desarrollo económico.

en investigación en áreas de fisiología vegetal o agricultura, con un interés alto por mejorar la productividad en sus procesos en los laboratorios y la experiencia que viven los científicos durante ejercicio de sus labores. Respecto a sus locaciones disponibles para realizar cultivos hidropónicos, son reducidas y segmentadas por tareas, por lo que los grandes invernaderos hidropónicos no están dentro de sus posibilidades. Acerca de las unidades muestrales, son mínimo 60 por experimento.

Usuarios finales: Investigadores en fisiología vegetal o ciencias agrícolas, que utilizan cultivos hidropónicos para llevar a cabo sus procesos de investigación. Son hombres y mujeres latinoamericanos, en edades entre 19 y 50 años. Son apasionados por el trabajo en equipo, la excelencia en sus trabajos, aprovechar bien el tiempo y generar nuevo conocimiento.

Respecto al proceso de compra, son los investigadores quienes realizan las solicitudes de los equipos de acuerdo con el presupuesto del proyecto de investigación, asignado por el departamento que los dirige. Estos se encuentran motivados a la compra por los diferentes beneficios que le brinde el equipo, tales como ahorro de esfuerzos, tiempo y mejoras significativas en los procesos investigativos. Seguidamente, el área de compras realiza la cotización del equipo con varios proveedores en caso de que existan, tanto nacionales como internacionales. Una vez que cada proveedor ha enviado su propuesta, se selecciona la más adecuada considerando los factores precio y tiempo de entrega, pues, entre más económico y menor tiempo de entrega, mejor para la institución.

Acerca de la compra y uso de softwares, generalmente poseen un único proveedor, por lo que el contacto es directo con él. Este se adquiere únicamente para ser instalados en los equipos de los laboratorios, ya que son altamente costosos para las IES. Sus precios oscilan entre 700 y 1500 USD por suscripción anual, debido a su nivel de especialización. En la actualidad el departamento de Biología de Icesi no posee ninguna aplicación móvil institucional o para la realización de labores de investigación, pero otros departamentos sí las tienen, por lo que es viable la implementación del aplicativo Himo. También la IES brinda a sus afiliados la licencia gratuita del paquete de Microsoft 365 para instalación en los computadores personales y existen otros programas como Adobe Creative Cloud, con los que la universidad tiene convenios y ofrece a los interesados en adquirirlos un precio especial. Es decir que, existen diferentes modalidades por las que se puede implementar la aplicación móvil de uso personal y organizacional.

Finalmente, respecto a las fuentes de ingresos, la Universidad Icesi recibirá ingresos por licenciamiento del sistema a una organización que se encargue de fabricar y comercializar el ecosistema de producto. Y este último, recaudará fondos por la venta directa de Himo, sus accesorios y la suscripción anual al aplicativo móvil en convenio institucional. Es posible creer en el éxito de Himo, ya que es factible, viable y está dirigido a un mercado de nicho que está dispuesto a invertir en él por el valor que representa para su organización en la mejora de la

experiencia de los usuarios, la mejora en la calidad de sus procesos investigativos y el ahorro de dinero que estaba siendo desperdiciado a costear horas laborales invertidas en labores operativas.

El modelo de negocios desde la aplicación es por medio de la modalidad de suscripción, tanto para usuarios particulares como para laboratorios, hay unos paquetes para laboratorios que cuentan con equipos de trabajo de menos de 5 investigadores, de 6 a 15 investigadores y de 16 en adelante distinguidos en 3 categorías, la primera únicamente para particulares inexpertos el paquete de estudiantes, para investigadores que requieren únicamente del sistema HIMO digital la categoría investigador y para los que requieren del sistema completo la categoría versión completa.



Versión estudiante	Versión investigador	Version completa
1 MES DE PRUEBA	30.000 \$ COP/ Mes	50.000 \$ COP/ Mes
12.000 \$ COP/ Mes	300.000 \$ COP/ Año	500.000 \$ COP/ Año
120.000 \$ COP/ Año		



Paquetes para laboratorios

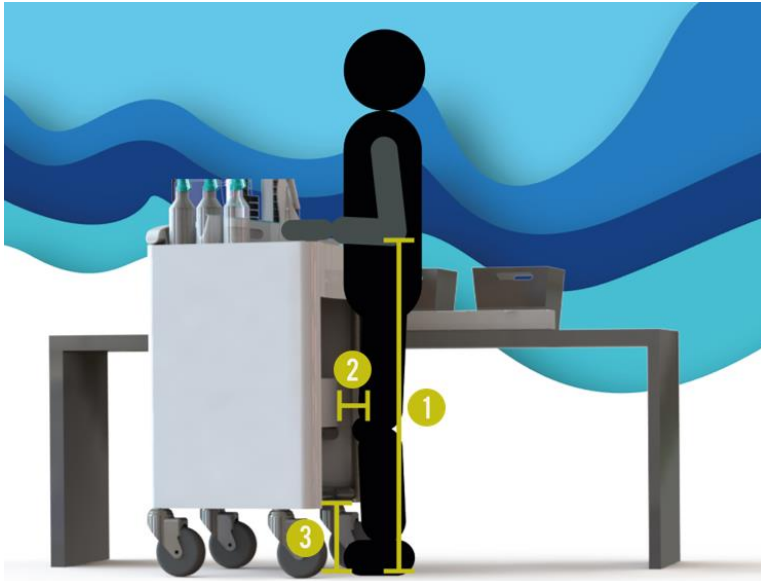
	Menos de 5 Investigadores	Entre 5 y 15 investigadores	más de 15 investigadores
Versiones	5 < 	5 >  < 15	 > 15
Investigador	1'200.000 \$ COP/ Año	3'500.000 \$ COP/ Año	6'500.000 \$ COP/ Año
Completa	2'000.000 \$ COP/ Año	5'500.000 \$ COP/ Año	8'500.000 \$ COP/ Año

Aspectos de factores humanos

Himo considera los esfuerzos, posturas y movimientos que implica para los usuarios de modo que puedan realizarlos de forma cómoda y adecuada, evitando así lesiones corporales y aumentando la productividad en el proceso de montaje del cultivo hidropónico dentro del laboratorio de investigación.

A continuación, se muestran los aspectos tenidos en cuenta desde la antropometría, la ergonomía y usabilidad a lo largo del proceso.

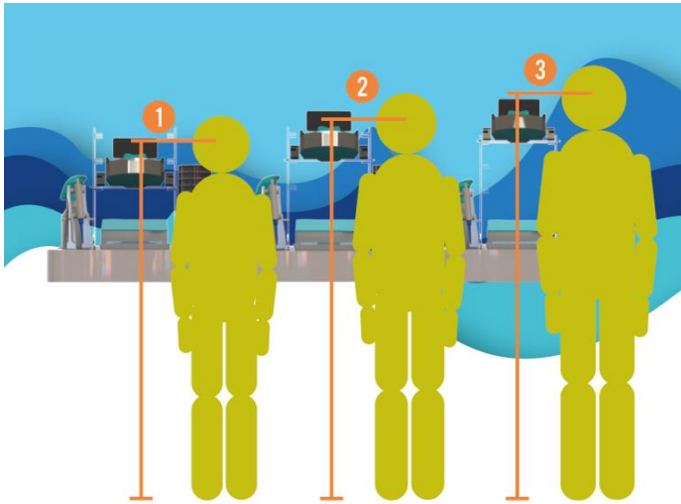
Inicialmente, el puesto de trabajo móvil tiene una altura de 100cm ya que es la dimensión de la altura del codo promedio de los hombres y mujeres colombianos de 18 a 35 años pertenecientes al percentil 50 (Ávila Chaurand, Prado León, & González Muñoz, 2007). También considera los espacios necesarios para las rodillas y los pies de los usuarios, de modo que no sea incómodo a la hora de trabajar en él.



Nota. 1: Altura de la superficie principal del puesto de trabajo, alineada con la altura del codo. 2: Espacio para las rodillas. 3: Espacio para la ubicación de los pies.

Figura 43 Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Altura de la zona de trabajo principal.

Al igual que la superficie para realizar el montaje, brinda la posibilidad de adoptar 3 alturas diferentes, de acuerdo con el promedio entre hombre y mujeres, de las alturas de los percentiles 5, 50 y 95.



Nota. 1: Altura mínima que permite Himo para realizar el montaje de las plántulas. 2: Altura media que permite Himo para realizar el montaje de las plántulas. 3: Altura máxima que permite Himo para realizar el montaje de las plántulas.

Figura 44 Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Alturas que permite Himo para realizar el montaje de las plántulas.

El área principal de trabajo que entra en contacto con el tronco de los usuarios es curva, de modo que sea más cómodo y tengan mejor acceso a toda la superficie de trabajo.

Desde la usabilidad, el puesto permite que los elementos se adapten a las preferencias de las personas diestras y zurdas, al poder ubicar los diferentes elementos del lado que para el usuario sea más cómodo acceder a estos.

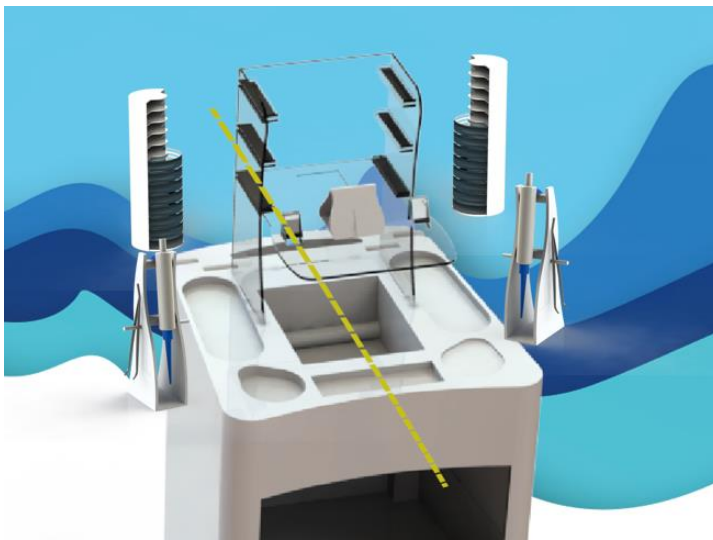


Figura 45 Factores humanos des puesto de trabajo Himo. Posibles ubicaciones de los elementos en el puesto de trabajo.

El puesto de trabajo Himo es modular, ya que también considera los momentos en los que se da el uso de varios puestos de trabajo al mismo tiempo, por lo que permite ahorrar espacio y que se mantenga el contacto entre los investigadores. Estos pueden modular hacia los lados, ubicándolos en fila en la misma dirección al juntar la vista posterior de un puesto con la vista frontal del otro, o en fila en direcciones opuestas al subir los agares de ambos puestos y unir ambas vistas posteriores.



Figura 46 Factores Humanos Himo. Módulos laterales puesto de trabajo.



Figura 47 Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Módulos en línea opuestos

Por otro lado, la dirección que tiene el puesto de trabajo permite que el sistema module, pero también que se genere una mayor área de trabajo cuando se vincula con las mesas en las que están ubicados los contenedores de los cultivos.

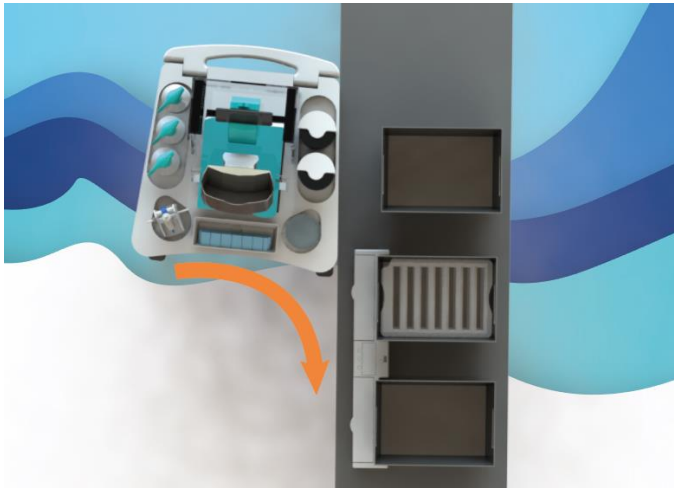


Figura 48 Factores humanos puesto de trabajo Himo. Zona de trabajo.

Himo se ajusta al contexto del laboratorio de investigación, puede moverse sin inconvenientes por todos los espacios y al ser de menor tamaño que los carros de laboratorio actuales, pueden ser guardados con mayor facilidad en los momentos que no se encuentra en uso.

Acerca del área de montaje en el puesto de trabajo, al ser transparente la superficie, el usuario puede tener buena visibilidad de los elementos que se encuentran abajo al alcance de la mano.

Finalmente, tanto la herramienta de apoyo para hacer el paso de las plántulas a los soportes flexibles, como el contenedor de los nutrientes poseen una inclinación que permite mejorar la visualización completa de los elementos. En el caso del montaje, esto permite al usuario tener mayor cuidado tanto de las hojas, como de la semilla y la raíz de las plántulas. Además, a los lados tiene apoyos para que, al retirar y ubicar los soportes, los usuarios puedan tener estabilidad, ya que es un trabajo de precisión, pues el espesor de los soportes flexibles es únicamente de 2mm. Todo el sistema cuenta con una serie de displays visuales que permiten al usuario conocer la secuencia de uso de manera rápida sin necesidad de acudir a un manual de uso.



Figura 49 Factores humanos del puesto de trabajo Himo. Inclinationes del contenedor de nutrientes y la herramienta para el montaje.

La interfaz en la aplicación se pensó desde el diseño unos colores contrastantes que permitan a los usuarios la legibilidad y la claridad de la información, una letra grande y unos botones interactivos y muy intuitivos, la forma de navegar por la aplicación es sencilla en la parte superior se encuentra el panel de información que indica en que parte digital de la aplicación se encuentra y los botones tienen un mismo estilo para que el usuario pueda identificar fácilmente los elementos que son botones de los que no. También se usó elementos como indicadores de campos de texto, retroalimentación visual cuando se está encima de un botón y preguntas de seguridad que salen a modo de pop up anti-errores humanos, toda acción se puede deshacer en caso de equivocarse el usuario. La interfaz está sectorizada en la parte superior las herramientas de acceso rápido y las más usadas, el menú desplegable las pantallas que en un segundo plano tienen relevancia como sensores, calendario, configuración y aspecto, en el centro el contenido y los botones usualmente en el centro y parte inferior para llevar un orden de lectura de arriba abajo adicionalmente hay un orden jerárquico en cuanto a tamaño de letra, ubicación en la pantalla y contraste con los elementos que facilitan al usuario navegar por la plataforma.

Aspectos Productivos

El componente físico de Himo está diseñado para que pueda producirse en series cortas debido a que el tamaño del mercado no es lo suficientemente grande como para pensar en utilizar métodos de producción a gran escala. Los materiales de los que está compuesto el sistema son acero inoxidable, polipropileno, silicona, poliestireno, acrílico y aluminio. La gran mayoría de piezas del sistema son especiales, por lo que requiere de la compra y transformación del material.

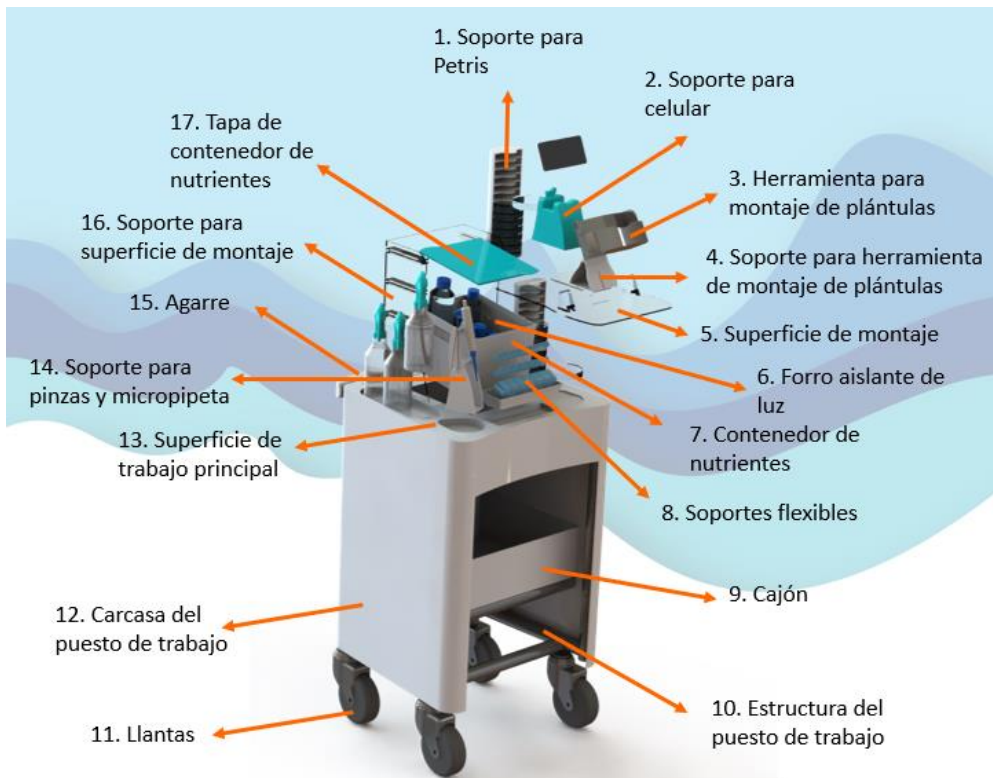


Figura 50 Componentes principales del puesto de trabajo Himo

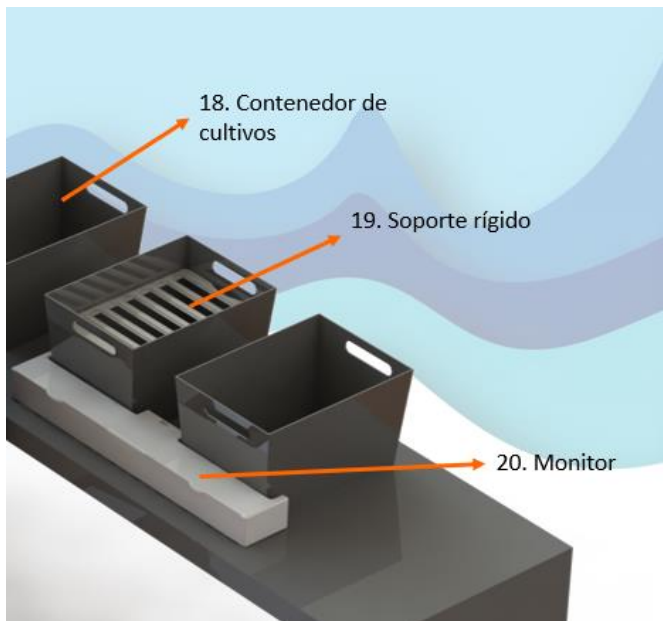


Figura 51 Componentes principales de Himo.

A continuación, se presenta una la tabla que muestra las partes principales del producto con su respectivo material y proceso de producción.

Tabla 6

Componentes principales del puesto de trabajo Himo, materiales y procesos productivos.

Número	Nombre	Material	Proceso productivo
1	Soporte para cajas Petri	Acrílico	Corte láser y termoformado
2	Soporte para celular	Poliestireno	Termoformado
3	Herramienta para montaje de las plántulas	Acero inoxidable	Corte láser y doblado
4	Soporte para herramienta de montaje de plántulas	Acrílico	Corte láser y termoformado
5	Superficie de montaje	Acrílico	Corte láser
6	Forro aislante de luz	Lámina de aluminio burbuja	Costura
7	Contenedor de nutrientes	Poliestireno	Termoformado
8	Soportes flexibles plántulas	Silicona	Troquelado
9	Cajón	Poliestireno	Termoformado
10	Estructura	Tubos de acero inoxidable	Corte y soldadura
11	Llantas	pieza estándar	
12	Carcasa	Poliestireno	Corte láser y doblado
13	Superficie de trabajo principal	Poliestireno	Corte láser y termoformado
14	Soporte para pinzas y micropipeta	Acrílico	Corte láser
15	Agarre	Poliestireno	Termoformado
16	Soporte para superficie de montaje	Acrílico	Corte láser
17	Tapa de contenedor de nutrientes	Poliestireno	Corte láser
18	Contenedor de cultivos	Acero inoxidable	Corte láser y doblado
19	Soporte rígido plántulas	Polipropileno	Mecanizado
20	Carcasa monitor	Poliestireno	Termoformado

Se requiere de un equipo de desarrollo para la aplicación, por lo que contactamos a la empresa Boken Arts especializados en el desarrollo de aplicaciones móviles para preguntarles sobre costo y tiempo. El tiempo que tomaría desarrollar este tipo de aplicación sería aproximadamente de 4 meses a 6 de desarrollo.

Aspectos de Costos

A continuación, se presentan los costos de los diferentes componentes de Himo en su componente físico.

Tabla 7

Estructura de costos de Himo, componente físico.

Componente y unidades	material	especificación presentación comercial	Cantidad	costo unitario material	costo total	proceso productivo
estructura metálica x1	acero inoxidable	Tubo de acero inoxidable 316L de 1 1/4" calibre 18 x 6mt	2	\$136.900	\$273.800	corte y soldadura
mesa de trabajo y	poliestireno	color blanco calibre 150 x 1m x2m	1	\$110.300	\$110.300	corte láser y termoformado

agarre x1						
carcasa x1	poliestireno	color blanco calibre 50 x 1mx2m	1	\$36.800	\$36.800	corte láser
mesa de montaje x1	acrílico	transparente espesor 3 mm x 1m x 1,5m	1	\$83.200	\$83.200	corte láser
herramienta de montaje x1	acero inoxidable	lámina 316L espesor 1,4 x 1219 x 2438 mm	0,25	\$141.000	\$35.250	corte láser, doblado y soldadura
soporte para el celular x1	poliestireno	color blanco calibre 100 x1mx2m	0,08	\$73.550	\$5.884	termoformado
soporte para pinzas x1	acrílico	blanco espesor 3 mm x 1m x 1,5	0,125	\$83.200	\$10.400	corte láser
contenedor sensores x2	poliestireno	color blanco calibre 100 x1mx2m	1	\$73.550	\$73.550	termoformado
soporte rígido x4	polipropileno	Lámina de polipropileno color natural calibre 180 x 120x180mm	0,25	\$135.000	\$33.750	Mecanizado CNC
soporte flexible x28	silicona	Tapete de silicona color azul espesor 2 mm x 1000 x 700mm	1	\$56.900	\$56.900	Troquelado
contenedor cultivos x4	acero inoxidable	lámina de acero inoxidable 316L espesor 1,4 x 1219 x 2438 mm	2	\$141.000	\$282.000	corte láser y doblado
soporte pH metro x4	acrílico	color blanco espesor 2mm x 1mx2m	0,03	\$76.100	\$2.283	corte láser
soporte Petris x2	acrílico	color blanco espesor 2mm x1mx2m	1,2	\$76.100	\$91.320	corte láser y termoformado
forro de aluminio x1	tapete de aluminio burbujas	cubierto por ambos lados espesor 2 mm x 1mx1,5m	0,25	\$8.000	\$2.000	corte y costura
Ruedas estándar	-	120mm diámetro	4	\$18.900	\$75.600	-
Otros	-	-	-	-	\$350.000	-
Total	-	-	-	-	\$1.523.037	-

Como era de esperarse, el componente físico de Himo tiene un costo más elevado comparado con el sistema actual para realizar cultivos hidropónicos en el laboratorio de investigación de la universidad Icesi, ya que este último está hecho con elementos caseros y no tiene tecnología incluida en el sistema. Pero, una vez se consideran las horas laborales que la institución estaba costeando para que los usuarios realizaran labores operativas, que dan alrededor de 8 días laborales durante todo el experimento, más todos los pliegos de goma EVA que se compran y deben ser desechados, adquirir este sistema es mucho más beneficioso. Además, la mejora en la experiencia de los actores involucrados es altamente

significativa, por lo que, al comparar costos y beneficios, el primero es realmente bajo.

Para la realización de la aplicación se cotizó con la empresa Boken Arts, presente en el Start up de la universidad Icesi y el desarrollo de la aplicación costaría aproximadamente \$46'000,000 COP, subirla a plataformas digitales con un costo de \$25 Dólares para play Store y se paga una única vez y para App Store se debe pagar \$99 Dólares que se renuevan de forma anual. Sumándole a esto costos de capacidad de almacenamiento y transferencia para bases de datos en la nube con firebase.

		SPARK Free Generous limits for hobbyists	FLAME \$25/month Predictable pricing for growing apps	BLAZE Pay as you go Commodity pricing for apps at scale
Included Free Analytics, App Indexing, Authentication, Dynamic Links, Invites, Notifications, Crash Reporting, & Remote Config		✓	✓	✓
Realtime Database	Simultaneous connections	100	Unlimited ¹	Unlimited ¹
	GB stored	1 GB	2.5 GB	\$5/GB
	GB transferred	10 GB	20 GB	\$1/GB
	Daily private backups	✗	✓	✓

Otro costo para ofrecer los servicios y el host con colombiaHosting por valor de \$135.000 COP anuales dominio y host.

Aspectos de Impacto (PESTA)

Himo genera un impacto positivo en la experiencia de los investigadores del laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi cuando realizan cultivos hidropónicos, pero también aporta a que se mejoren los procesos de investigación al optimizar el tiempo de los usuarios para que puedan invertir este recurso en generar conocimiento valioso en vez de realizar labores operativas. Esto también favorece a la institución educativa al hacer que el dinero que deposita en los usuarios sea bien administrado en sus labores diarias.

Tabla 8

Tabla comparativa entre sistema actual para hacer montaje de cultivo hidropónico en el laboratorio de fisiología vegetal de la universidad Icesi e Himo.

Sistema para hacer montaje de cultivos hidropónicos actual	VS	Sistema para hacer montaje de cultivos hidropónicos HIMO
6,1 Horas	 t Esterilización usuario	0 Horas
3,4 Horas	 t Haciendo soportes	0 Horas
✘	 Organización y practicidad	✔
10 zonas	 No. zonas de trabajo	2 zonas
34 segundos	 t de montaje x plántula	7 segundos
✘	 Cuidado de plántulas	✔
6 veces	 No. veces que cargan tanques	2 veces
	 Experiencia usuarios	
\$110.000 *	 Costo inicial	\$1'523.000

* Este valor no considera el costo de la recompra de goma EVA para la realización de los soportes, que al compararse con la vida útil de los soportes de Himo podría llegar a ser muy similar.

La tabla anterior permite ver el impacto real de Himo a través de la comparación con el sistema actual. Esta permite ver cómo se logra el impacto positivo en optimización del tiempo, que es principalmente, a través de la implementación de elementos autoclavables, la centralización del proceso y el orden a través del puesto de trabajo y la implementación de una nueva forma de hacer el montaje de las plántulas, más rápido y a su vez, cuidando las plántulas. Estos factores hacen que el proceso general de montaje sea un 66,9% más rápido que con el sistema actual. Además, reduce los esfuerzos físicos de los usuarios en un 66,6%, sin contar que también se ve disminuido el esfuerzo visual.

También el esfuerzo de los investigadores es mal invertido y cuando por incertidumbre de las condiciones o por margen de error humano se daña un experimento se genera una frustración en ellos por la cantidad de esfuerzo, tiempo y recursos invertidos.

El impacto productivo desde la etapa de análisis se hace evidente comparándose con el sistema actual en el que no se sabe el estado de los cultivos solamente cuando se revisan directamente, disminuyendo la incertidumbre en un 30% al tener sensores en tiempo real y notificaciones que informan sobre el estado del cultivo aun fuera de horarios laborales. Al centralizar la información en una única fuente evitamos las búsquedas en las bitácoras de los investigadores, nos

ahorramos la etapa de digitalizar lo físico e incrementamos la accesibilidad a la información del experimento en un 60% haciendo la recolección de datos un 65% más rápido en comparación con el sistema actual.

Políticos

Himo aporta a las iniciativas públicas por mejorar el desarrollo de la ciencia en Colombia a través de la generación de nuevo conocimiento, pero también de invenciones que son de utilidad para el desarrollo de éstas. Además, de que es una tecnología que podría ser generador de valor el segmento agrícola que es de gran interés para el país.

Himo en función de la producción intelectual de los investigadores de acuerdo con el habeas data y la ley de LEY 44 DE 1993, la aplicación de himo les ofrece seguridad de la información registrada, mejora en el proceso de documentación de la investigación, ofrece servicios de big data para el análisis disminuyendo la incertidumbre de las condiciones de cada cultivo. Desde el campo social la aplicación permite trabajar colaborativamente enlazando la producción intelectual y registro de la información de varios investigadores en una sola fuente.

Económico

Social

Tecnológico

Ambiental

Himo en su totalidad está compuesto por materiales reciclables y es un sistema de larga vida útil que posee elementos reutilizables, a diferencia del sistema actual que implica el desecho frecuente de elementos como la goma EVA que son difíciles de volver al ciclo.

CONCLUSIONES

Para concluir, Himo ha sido un ejemplo grato del diseño desde la concepción de una manera estratégica de pensar, no visto únicamente desde la perspectiva de una disciplina, pues involucra el diseño de producto, de interacción, experiencia e incluso procesos. Sin embargo, no se da por sentado que el proceso esté completamente terminado, pues, aunque se han logrado los objetivos, como se mencionó en la introducción y en los alcances del proyecto, existen otras posibilidades de mejora por lo que Himo podría considerarse como un mínimo producto viable de una serie de ecosistemas de productos orientados a solucionar diferentes problemáticas presentes en el desarrollo de cultivos hidropónicos en este contexto.

A modo personal, es gratificante ver cómo a través de diferentes metodologías de diseño aplicadas se logra llegar al cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, superando las expectativas de los usuarios. Específicamente en este caso, se realizó un proyecto de codiseño con los usuarios, ya que al haber sido ellos quienes habían desarrollado el sistema actual para hacer los cultivos hidropónicos, y al tener claros lo que querían conseguir con el sistema, tenían ya una idea planteada de lo que sería la solución aún antes de iniciar la investigación, sin embargo, al llevar a cabo este proceso y aportar la visión de diseñadores se ha logrado llegar a resultados inesperados por los usuarios, no solo porque se aplicaron conocimientos técnicos que los investigadores por su trayectoria profesional no poseen, sino sobre todo por la capacidad de análisis de las causas del problema y detección de insights que no habían percibido anteriormente.

Otro de las conclusiones que surgen a partir de la reflexión acerca del proceso de investigación y diseño, es que la realización de este proyecto fomenta el hábito de reforzar constantemente la orientación hacia el usuario, pues, como diseñadores quisiéramos hacer cosas que nos suenan muy bien, pero no necesariamente es lo que necesitan y desean los actores para quienes diseñamos y aquí también es cuando la empatía, el don de servicio y la capacidad de síntesis se deja ver.

A pesar de que vivimos sumergidos en la tecnología aun hoy podemos encontrar oportunidades de intervención tecnológica en campos como la ciencia que creeríamos que ya ha solucionado la gran mayoría de problemas desde la tecnología, nuestras disciplinas desde el diseño industrial y el diseño de medios interactivos nos ha permitido identificar las dificultades que pasan los investigadores en laboratorios de investigación en fisiología vegetal a pequeña escala y enfocándonos en el usuario podemos mejorar aspectos que le faciliten la experimentación y mejorar la experiencia durante, esta situación no es solo un contexto local pues los mismos investigadores comparte que esta situación es similar en laboratorios de investigación en otras partes del mundo. Las tendencias proyectan hacia más investigaciones en pro de la seguridad alimentaria y como

medio ideal la experimentación en cultivos hidropónicos, si a esto le sumamos los avances tecnológicos en inteligencia artificial, la expansión de la big data y el internet de las cosas, el potencial que hay para la creación de un manager de información científica que permita a los investigadores ofrecer más que información organizada la capacidad de interpretar patrones de investigación, y aprender del investigador para ofrecer sugerencias que puedan aportarle en su estudio. Por ello este proyecto es una muestra de que la tecnología debe aplicarse en este campo y cualquier otro, no solamente para automatizar procesos, sino para ofrecer herramientas que potencien las capacidades de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Avanzamos cosmoagro. (20 de Junio de 2012). *Qué es la Fisiología Vegetal?*
Obtenido de Avanzamos cosmoagro:
<http://www.cosmoagro.com/site/avanzamos/fisiologia-vegetal/>
- Ávila Chaurand, R., Prado León, L., & González Muñoz, E. (2007). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. Obtenido de Universidad de Guadalajara:
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, & Cortez, k. (2007). *Papel de la estadística en la investigación científica*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/315812689_Papel_de_la_estadistica_en_la_investigacion_cientifica_Role_of_statistics_in_scientific_research
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- Best S, S., León G, L., Méndez, A., Flores, F., & Aguilera, H. (2014). *Adopción y desarrollo de tecnología en agricultura de precisión*. Boletín digital N° 3, Instituto de investigaciones agropecuarias, Progap-INIA, Chillán, Chile.
Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Tecnologia-Agricultura-Precision.pdf>
- Castillo Alicia. (2004). *Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo*. Unidad de Biotecnología, Las Brujas.
- Chávez, H. (7 de Abril de 2012). Las invasiones en Cali son un problema en aumento. *El País*.
- de Benito, A. (01 de Mayo de 2015). *Proceso de diseño, el doble diamante*.
Obtenido de <https://abeldb.com/informes/proceso-de-diseno-el-doble-diamante/>
- Espaniza, N. G. (Noviembre de 2017). *Boletín Estadístico No. 5 -2017*. Obtenido de Colciencias:
https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Boletin-Estadistico2017_Final.pdf
- Grijota, E. (27 de enero de 2017). *Cómo plantar tus alimentos en casa y sin usar tierra, lo próximo que todos querrán hacer*. Obtenido de
<https://www.lavanguardia.com/vivo/nutricion/20170125/413630299065/que-es-el-cultivo-hidroponico-ventajas-inconvenientes.html>
- Hidroponía Rosario. (15 de Abril de 2015). *Cultivo en tierra vs cultivo hidropónico*.
Obtenido de <http://www.hidroponiarosario.com/cultivo-en-tierra-vs-cultivo-hidroponico/>
- Hydro environment. (2018). *Hidroponía casera*. Obtenido de
https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=163

- Intagri. (2017). *La hidroponía: cultivos sin suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Jaramillo Gonzalez, I. J. (15 de Junio de 2010). *Fisiología Vegetal, disciplina clave: De Darwin a la era "ómica"*. Obtenido de Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Icesi: http://www.icesi.edu.co/blogs/facultad_ciencias_naturales/tag/fisiologia-vegetal/
- Libro, A. (2013). *Título libro*. ciudad, estado, país: editorial.
- Linares, G. (1999). *Campamentos temporales o de emergencia*.
- MC, R. (04 de Septiembre de 2013). *Requerimientos para un cultivo hidropónico*. Obtenido de <https://www.agroterra.com/blog/descubrir/requerimientos-para-un-cultivo-hidropnico/77945/>
- Nguyen, N. T., McInturf, S. A., & Mendoza-Cózatl, D. G. (13 de julio de 2016). *Hydroponics: a versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements*. Obtenido de https://www.jove.com/video/54317/hydroponics-versatile-system-to-study-nutrient-allocation-plant?fbclid=IwAR3KRLEaDO26A5AO_zWZfrnDnjUkLtbwG2hhPQyr7eV9ns6Kgxe95fGp_E
- ONU. (2008). *Únete, Plan de Respuesta a las Inundaciones*. Colombia. (s.f.). *PAC-Performance-centered Adaptive Curriculum for Employment Needs MASTER DEGREE: Industrial Systems Engineering*.
- Pérez-Uz, B., Silóniz, M., Torralba, B., & Vázquez, C. (2011). *Reduca. Biología* (Vol. 3). Ana García Moreno.
- Proyecto esfera. (2011). *Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*. Practical Action Publising.
- Sadava, D., & Fernández Castelo, S. (2009). *Vida : La Ciencia de la Biología*. Editorial Médica Panamericana.
- Salazar Molina, G. (27 de Mayo de 2001). *Historia de la hidroponía y de la nutrición vegetal*. Obtenido de http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm
- Saldarriaga, A. (2002). *La Arquitectura como experiencia: espacio, cuerpo y sensibilidad*. Bogota: Villegas editores.
- Sánchez, A. (12 de 2011). Después de la inundación. *Coyuntura económica: investigación económica y social*, XLI(2), 213-246.
- Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres en Colombia. (05 de 01 de 1989). *Alcaldía Bogotá*. Recuperado el 10 de 03 de 2013, de www.alcaldiabogota.govco/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13549
- Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana. (2008). *Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales*.
- Thomas, A. (2012). *Colombia: La respuesta a las inundaciones mejora, pero persisten desafíos*. Refugees International.

Universidad de Alicante. Biblioteca Universitaria, D., & Gallo-León, J.-P. (2017). *El feliz hallazgo de la "colección facilitada"*; (Vol. 6). EPI SCP.

Valdivia Medina, R. Y., Pedro Valdés, S., & Laurel Gómez, M. (2010). *AGUA PARA USO EN LABORATORIOS*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>

Vázquez , C. (12 de diciembre de 2017). *Un invernadero hidropónico con capacidad para 10 millones de plantas*. Obtenido de https://elpais.com/ccaa/2017/12/12/valencia/1513081835_702981.html

Anexos/Apéndices

Anexo A. Elementos del sistema actual para hacer cultivos hidropónicos en el laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI

Elementos del sistema actual para hacer cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi

ELEMENTO

Tanques y tapas



Soportes



Carro de servicio



Luminaria



FUNCIONES

Tanque: Contener el agua con la solución nutritiva.
Tapa: Facilitar los procesos de esterilización y evitar que el agua se salga.

Sostener las plantulas

Transportar los tanques

Proveer al cultivo luz o sombra similar a la luz solar.

ESPECIFICACIONES

Tanque:
 Capacidad: 9Lt
 Material: Polipropileno
 Auclavable: NO
Tapa:
 Material: Polipropileno
 Auclavable: NO

Capacidad: Max 75 plantulas
 Material: Etilvenilacetato
 Auclavable: NO

Capacidad: 4 tanques / 80KG
 Material: PP y acero inoxidable
 Con rodachines.
 Medidas: 480X950 MM

Enfriado por aire
 Bombilla de sodio de alta presión Ultra Sun de 1000V
 Temporizador programable
 Cargadores de luz
 Altura y dirección graduables

Anexo B Composición del sistema hidropónico actual del laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI.



Nota: Tabla basada en un experimento con 600 unidades experimentales.

Anexo C. Otras herramientas usadas en la experimentación con cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología vegetal de la Universidad ICESI

Herramientas utilizadas para hacer cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi		
HERRAMIENTA	FUNCIONES	ESPECIFICACIONES
<p>pH metro</p> 	<p>Medir el pH del agua con la solución nutritiva.</p>	<p>Precisión: $\pm 0,1 / \pm 0,01 / \pm 0,002$ pH Conexión eléctrica Calibración automática Electrodo de pH Esterilizable: Sí</p>
<p>Frasco lavador</p> 	<p>Dispensar agua destilada</p>	<p>Capacidad: 500ml Material: Polipropileno Esterilizable: Sí</p>
<p>Micropipeta</p> 	<p>Dosificar los nutrientes.</p>	<p>Capacidad: 5 μl hasta 5000 μl. Máxima precisión Esterilizable: Sí</p>
<p>Botella Spray</p> 	<p>Dispensar químicos para la esterilización.</p>	<p>Capacidad: variable Mecanismo: Spray Material: Polipropileno Esterilizable: Sí</p>
<p>Pinzas</p> 	<p>Traspasar las plantulas de las cajas Petry a los soportes.</p>	<p>Material: Aluminio Esterilizable: Sí</p>

Nota: Tabla basada en la actividad de *Montaje* del cultivo hidropónico.

Equipos utilizados para hacer cultivos hidropónicos en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la universidad Icesi

EQUIPO

Cabina de flujo laminar



Destilador de agua



FUNCIONES

Esterilizar las superficies de los tanques, las tapas y los soportes a través de luz UV.

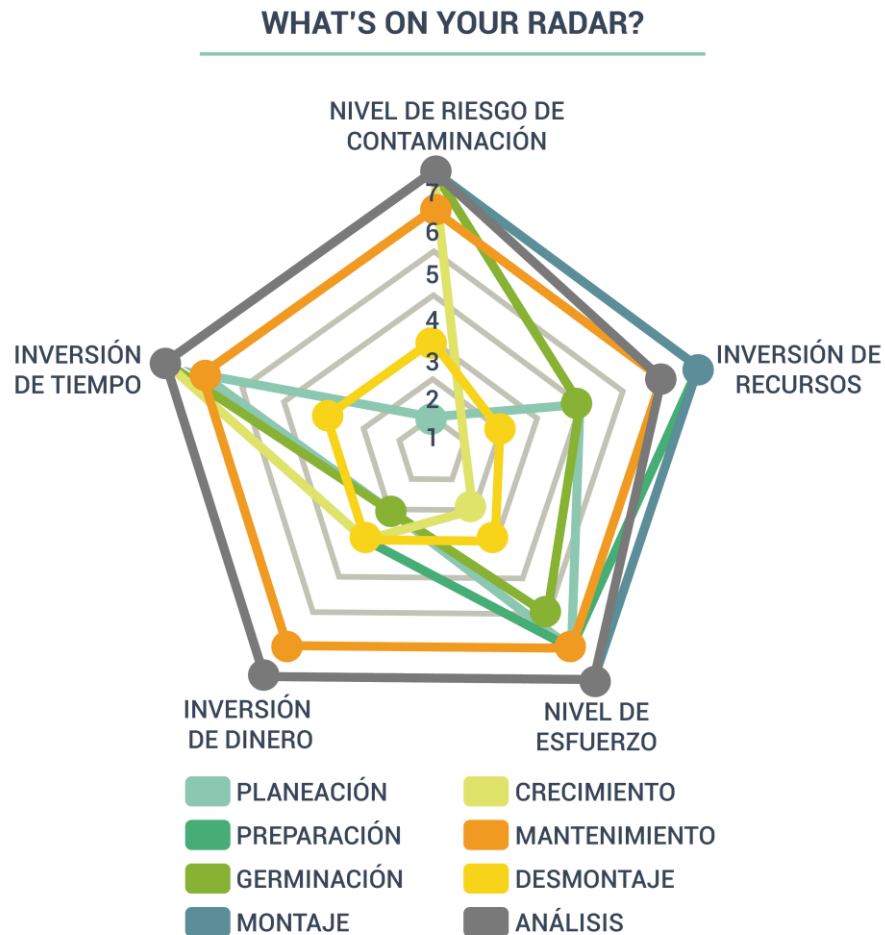
Dispensar agua destilada para llenar los tanques.

Nota: Tabla basada en la actividad de *Montaje* del cultivo hidropónico

Etapas de un experimento con cultivo hidropónico en el laboratorio de Fisiología vegetal de la universidad Icesi.

	QUÉ	DÓNDE	CUÁNDO	QUIÉN
1	Planeación En esta etapa se realiza el diseño experimental en base a los propósitos de la investigación.	Icesi Edificio L 1er Piso	Antes de iniciar	Equipo de investigadores
2	Preparación En esta etapa se rompe la dormancia de las semillas y se esterilizan.	Icesi Edificio L 3er Piso	Variable dependiente de tipo de semilla	2 investigadores fijos
3	Germinación En esta etapa se ubican las semillas en cajas de Petri esteriles y se ponen a germinar bajo luz y sombra artificial.	Icesi Edificio L 1er Piso	Variable dependiente de tipo de semilla	2 investigadores fijos
4	Crecimiento Se realiza el montaje. Se dejan en crecimiento. Se realiza mantenimiento y monitoreo.	Icesi Edificio L 4to Piso	Variable dependiente de tipo de planta	2 investigadores fijos
5	Tratamiento Se añade a la solución el nutriente o elemento objeto del experimento durante los días asignados. Se monitorea y se hace mantenimiento.	Icesi Edificio L 4to Piso	Variable dependiente de tipo del diseño experimental	2 investigadores variables
6	Análisis Se toman las plantas para estudio. Se desecha el agua y los soportes. Se guardan los elementos. Se digitalizan los datos y se analiza.	Icesi Edificio L 1er Piso	Variable dependiente de tipo del proyecto	1 investigador encargado

Nota: Número de científicos encargados basado en un experimento con 600 muestras experimentales.



Fecha de aplicación: 18 de septiembre de 2018

Lugar: Universidad Icesi – Cali

Número de participantes: 6. Investigadores tiempo completo del Laboratorio de fisiología vegetal Icesi

Dirigido por: Valentina Rendon y Juan David Piedrahita

Nombre de la actividad: What's on your radar?

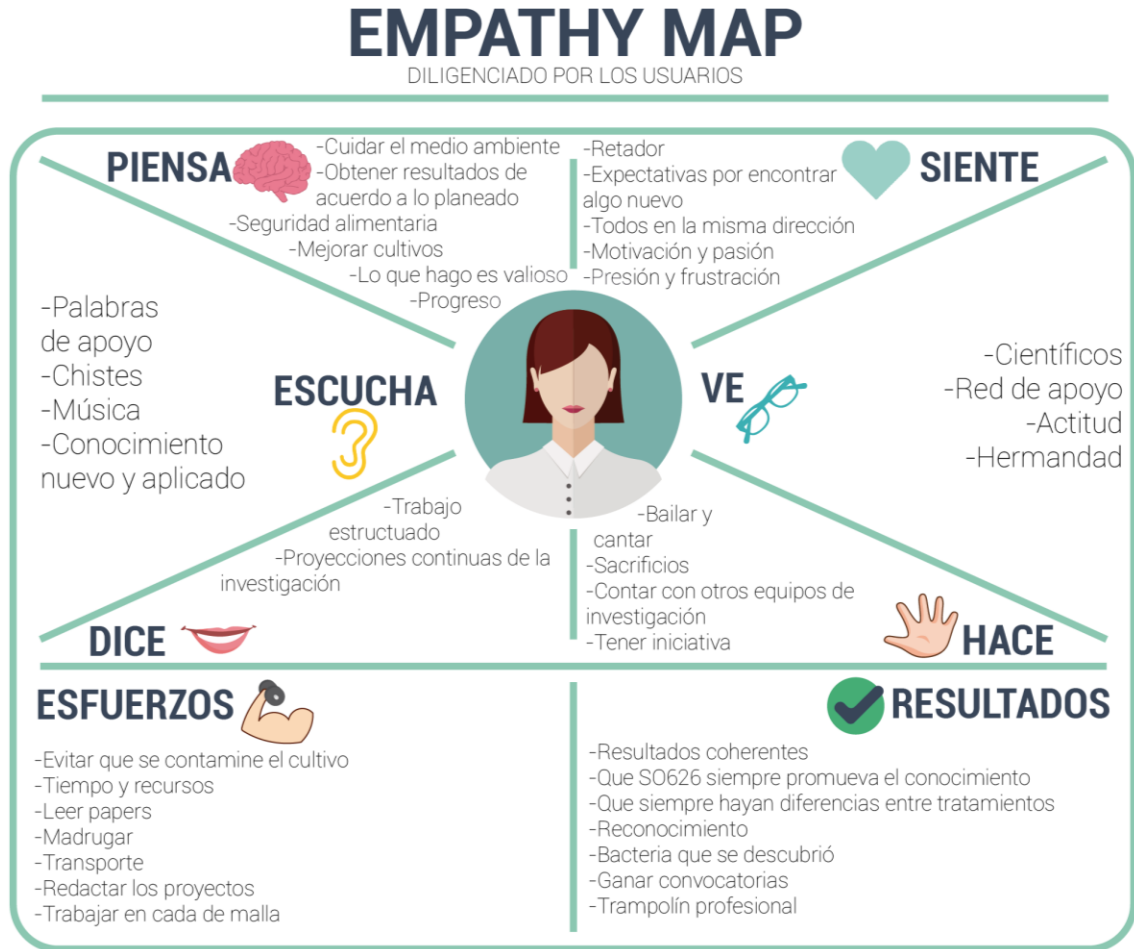
Objetivo: Conocer las percepciones de los usuarios respecto a las actividades realizadas durante un experimento con cultivos hidropónicos, en términos de inversión de tiempo, esfuerzo, dinero, recursos y riesgo de contaminación para realizar la selección de la actividad de enfoque del proyecto.

Método de aplicación: Se ubicó el gráfico impreso en un tablero y se dieron marcadores a los usuarios para que lo diligenciaran en equipo. Se sugirieron los factores y las actividades, más un campo en blanco en este último para que el grupo añadiera una actividad en caso de que lo considerara necesario. Añadieron *Planeación*.

Diagrama de interpretación del diagrama Radar.

ACTIVIDAD \ FACTOR	FACTOR					TOTAL
	Riesgo de contaminación	Inversión de tiempo	Inversión de dinero	Inversión de esfuerzo	Uso de recursos	
Planeación	2	6	2	6	4	14
Preparación	7	7	3	6	7	30
Germinación	7	7	2	5	4	25
Montaje	7	7	7	7	7	35
Crecimiento	7	7	3	2	1	20
Mantenimiento	6	6	6	6	6	30
Desmontaje	3	3	3	3	2	14
Análisis	7	7	7	7	6	34
TOTAL	45	50	33	42	37	202

Anexo G. Herramienta Empathy map utilizada en trabajo de campo. Investigación cualitativa.



Fecha de aplicación: 18 de septiembre de 2018

Lugar: Universidad Icesi – Cali

Número de participantes: 8. 6 investigadores tiempo completo y 2 estudiantes del semillero de investigación de Fisiología vegetal Icesi.

Asistido por: Valentina Rendon y Juan David Piedrahita

Nombre de la actividad: Empathy map

Objetivo: Conocer el entorno de los usuarios, sus percepciones y factores psicológicos de los mismos para crear un perfil más detallado de los usuarios y obtener insights para el diseño de la interacción.

Método de aplicación: Se ubicó el mapa impreso en un tablero y se dieron post its y marcadores para que los usuarios lo llenaran.

Anexo H. Herramienta Focus group utilizada en trabajo de campo.

FOCUS GROUP

- 1. ¿Quiénes lideran el experimento?**
"Cada uno tenemos un experimento a cargo, pero nos apoyamos entre nosotros en las etapas que sean necesarias. Los chicos del semillero también nos ayudan bastante en algunas etapas"
- 2. ¿Cuántos investigadores participan en el experimento?**
"Los 6 participamos en el experimento"
- 3. ¿En cuáles etapas participan cada miembro del equipo?**
"Todos hacemos la planeación, el montaje lo hacemos entre dos personas, igual que el mantenimiento y la preparación de las semillas. Pero no estamos fijos siempre en las etapas, sino que lo hace los que estén disponibles. El análisis sí lo hace solo el líder del proyecto con la jefa." "Cuando alguien está cargado de trabajo pide ayuda al equipo."
- 4. ¿Conocen sus métodos de aprendizaje?**
Algunos conocían sus métodos de aprendizaje, otros no. En general, a todos les molesta la redacción de documentos del proyecto y el análisis del experimento.
- 5. ¿Cómo analizan los experimentos?**
"Llevamos apuntes en nuestra bitácora de todas las observaciones del experimento. Cada día hacemos eso. También anotamos el pH o si vemos síntomas en la planta. Anotamos las mediciones de las raíces en papel y luego las pasamos a una tabla de excel. Usamos tablas que ya están estandarizadas para generar los resultados del experimento y lo socializamos con la Jefa, que prácticamente vuelve a hacer todo."
- 6. ¿Cómo es la relación entre ustedes?**
"Somos amigos, hay libertad entre nosotros y las funciones del laboratorio. Nos apoyamos bastante y nos reímos"
- 7. ¿Cómo es la integración de alguien nuevo al equipo?**
"Simplemente va viendo como son las cosas y se va adaptando al modo de trabajo del equipo, es muy informal"
- 8. ¿Cómo es la etapa de planeación?**
"Nos reunimos a hacerla, pero es muy informal. Discutimos acerca de cómo abordar el experimento. Usamos test estadísticos para hacer el diseño experimental y se ejecuta, todos estamos en todo y cada uno sabe que tiene que hacer"
- 9. ¿Cómo es el diseño experimental?**
"Ahí definimos el tratamiento y los genotipos, los nutrientes que vamos a usar, las variables y factores. Usamos tests estadísticos de acuerdo a lo que se quiera evaluar. Siempre se usan guías. Se define lo que se va a medir o evaluar del experimento."

Fecha de aplicación: 18 de septiembre de 2018

Lugar: Universidad Icesi – Cali

Número de participantes: 8. 6 investigadores tiempo completo y 2 estudiantes del semillero de investigación de Fisiología vegetal Icesi.

Asistido por: Valentina Rendon y Juan David Piedrahita

Nombre de la actividad: Focus group

Objetivo: Conocer la cultura de trabajo, la etapa de planeación y la realización del diseño experimental. Profundizar en la interacción entre usuarios y los usuarios y el experimento.

Método de aplicación: Se realizó una mesa redonda en la que se hicieron las preguntas al equipo y los asistentes tomaron apuntes.

Anexo I. Herramienta Diagrama de experiencia utilizada en trabajo de campo.

DIAGRAMA DE EXPERIENCIAS

DILIGENCIADO POR LOS USUARIOS

-Buenos resultados -Aprender con todos en el semillero -Almuerzo -Fin del experimento -Ambiente laboral -SOG26	-SOG26 -Escarificar en el Lab -Trabajo en equipo	-Paso de plantas al Foamy -RBC Root boarder cells -Análisis de datos -Desechar montajes	-Limpiar -Cambio del agua -Replicar la colección -Trabas en el proceso	-Contaminación -Comer* -Root reader 2D	-Horarios del autoclave -Dormir* -Medir raíces -Escribir tesis/proyecto /informe -Compras
					

*Actividad realizada al sentir la emoción pertinente

 **FRUSTRACIÓN**

Fecha de aplicación: 18 de septiembre de 2018

Lugar: Universidad Icesi – Cali

Número de participantes: 6 investigadores tiempo completo del Laboratorio de investigación de Fisiología vegetal Icesi.

Asistido por: Valentina Rendon y Juan David Piedrahita

Nombre de la actividad: Diagrama de experiencias

Objetivo: Conocer las experiencias con las cuáles los usuarios se sienten menos conformes para seleccionar los puntos de enfoque del proyecto e identificar las que más motivan a los usuarios para que el sistema de diseño las potencialice.

Método de aplicación: Se ubicó el mapa impreso en un tablero y se dieron post its y marcadores para que los usuarios lo llenaran. Los asistentes dirigieron la actividad recordando cada etapa del experimento para generar más respuestas. Se dejó un campo para que los usuarios pudieran añadir una emoción si lo creían pertinente, pero no fue necesario, en cambio, enmarcaron como Frustración a las 3 últimas emociones.

Anexo J. Customer journey map de la actividad Montaje del experimento.

CUSTOMER JOURNEY MAP DE LA ACTIVIDAD DE MONTAJE DEL EXPERIMENTO CON CULTIVO HIDROPÓNICO EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE FISIOLÓGÍA VEGETAL DE LA UNIVERSIDAD ICESI



Anexo K. Tiempo invertido en el montaje del cultivo hidropónico por actividad y tarea.

Tabla 9

Tiempo invertido por actividad y tarea en el montaje de un cultivo hidropónico.

NOMBRE ACTIVIDAD	TAREA		TIEMPO			
			EN MINUTOS		EN HORAS	
	N°	NOMBRE	UD	TOTAL, UDS	ACTIVIDAD	DÍA
PREPARAR SOPORTES	1	MEDIR EL FOMY Y CORTAR	4	32	3,9	3,9
	2	MUESCAS POR FOMY	25	200		
ESTERILIZAR TANQUES	3	SACAR TANQUES	1	1	3,7	9,3
	4	LAVADO TANQUE CON EXTRAN ESPRAY	2	16		
	5	LAVADO TAPA CON EXTRAN ESPRAY	1	8		
	6	DESINFECTAR CON HIPOCLORITO TANQUE + TAPA	1	8		
	7	TAPAR CON HIPOCLORITO	60	60		
	8	APLICAR ETANOL EN ESPRAY	30	30		
	9	RETIRAR EXCESOS	0,5	4		
	10	LAVAR CON AGUA DESTILADA TANQUE + TAPA	3	24		
	11	SECADO CON SERVILLETAS TANQUE + TAPA	2	16		
	12	PASAR AL CARRITO	1	1		
	13	PASAR TANQUES A CABINA DE FLUJO LAMINAR	1	1		
	14	LUZ UV TANQUES X 4	20	40		
	15	LUZ UV TAPAS X 8	10	10		
	AGREGAR SOLUCIÓN	16	PASO AL CARRITO	3		
17		MOVER AL CUARTO CON AGUA	1	1		
18		LLENADO CON AGUA TANQUE	4	32		
19		TAPAR Y PASAR AL CARRITO	0,5	4		
20		MOVER AL LABORATORIO	3	3		
21		PASAR TANQUES AL MESÓN	3	3		
22		AGREGAR SOLUCIÓN	15	120		
23		PASAR TANQUES AL CARRITO	1	1		
24		CALIBRAR PH METRO	5	5		
25		LIMPIAR ELECTRODO	1	8		
26	NIVELAR PH	1	8			

	27	ORGANIZAR	2	2			
	28	TAPAR TANQUES	1	1			
ESTERILIZAR SOPORTES	29	HIPOCLORITO AL SOPORTE ESPRAY	1	8	2,4		
	30	ESPERA CON HIPOCLORITO	60	60			
	31	ETANOL ESPRAY	0,5	4			
	32	LAVAR SOPORTE CON AGUA DESTILADA	1	8			
	33	SECADO SOPORTE	45	45			
	34	CABINA DE FLUJO LAMINAR SOPORTES	20	20			
MONTAR CULTIVO	35	PASO DE LA PLANTA AL FOMY	1	600	10,1	10,1	
	36	LLEVAR AL CUARTO CON LUZ	5	5			
		TOTAL				23,2	

Anexo L Brief de innovación

Debido al fenómeno mundial sobre la búsqueda de la seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente, el laboratorio de investigación de fisiología vegetal de la universidad Icesi busca analizar diferentes plantas a través de cultivos en condiciones controladas. Para esta actividad, los científicos, deben asumir la recolección análoga de los datos y actividades operativas extensas y numerosas, específicamente hacia el uso de cultivos hidropónicos. Sus herramientas deben ser prácticas, versátiles y que les brinden información certera de forma amigable. Desafortunadamente, los sistemas que tienen disponibles no ofrecen las características anteriormente mencionadas, y adicionalmente, no ofrecen garantías para disminuir el margen de error humano, optimizar el uso de los recursos y mejorar las prácticas de laboratorio. Este escenario nos ofrece una oportunidad de aplicar nuestros conocimientos en diseño industrial y de medios interactivos para desarrollar un sistema automatizado e interactivo para la investigación de especies vegetales con cultivos hidropónicos en laboratorios que apoye al científico en sus prácticas y facilite el éxito de sus labores.