

Pontificia Universidad Javeriana



Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Tesis de pregrado, fin de estudios
Carrera de Ecología.

Presentado por Mario Valderrama León
Dirigida por Juan David Amaya Espinel Ph.D
Codirigida por Lucas Rafael Ivorra Peñafort MSc

Prospección de uso del género *Equisetum* como producto biodegradable alternativo al uso de tubos plásticos de beber por succión (pitillos).

6 de Noviembre - 2018
Bogotá D.C.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	página 4
Resumen	página 5
Abstract.....	página 6
I) Formulación del proyecto de investigación.....	páginas 7 - 36
1. Introducción.....	páginas 7 - 11
a) Problema de investigación.....	página 7
b) Justificación.....	página 8
c) Propósito del proyecto y preguntas de investigación.....	página 10
2. Objetivos.....	página 11
a) General.....	página 11
b) Específicos.....	página 11
3. Marco referencial.....	páginas 11 - 23
a) Marco teórico.....	página 11
b) Género <i>Equisetum</i>	página 13
c) La problemática del plástico y sus impactos ambientales.....	página 16
d) Antecedentes.....	página 19
4. Materiales y métodos.....	páginas 23 - 36
a) Diagrama de flujo.....	página 23
b) Diseño del estudio.....	página 24
c) Métodos de Análisis de datos.....	página 35
II) Los tallos de los equisetos (<i>Equisetum giganteum</i>) como alternativa a los pitillos plásticos.....	páginas 3 - 66
5. Resultados	
a) Resultados de las pruebas físicas	página 36
b) Resultados de las pruebas de usabilidad y encuestas a usuarios.....	página 54
c) Resultados del análisis del ciclo de vida	página 56
III) Por qué optar o no por esta alternativa para los pitillos plásticos, recomendaciones para estudios futuros.....	páginas 66 - 72
7. Discusión.....	página 66
8. Conclusiones	página 73
Bibliografía.....	páginas 74 - 77

9. Referencias citadas.....página 74

Anexos..... Página 74

10. Anexos

- 1) Claves taxonómicas *Equisetum giganteum*
- 2) Norma ASTM ensayos de tensión en plásticos
- 3) Norma Técnica Colombiana 1866
- 4) Protocolo prueba de migración global
- 5) Formato del diseño de la prueba de usabilidad, con encuestas de satisfacción y consentimiento informado
- 6) Videos de las pruebas de usabilidad con usuarios
- 7) Otros
- 8) Métodos de recolección de datos
- 9) Formatos de cuestionarios diligenciados por los participantes de las encuestas

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradezco a mis padres Mario Valderrama Vivas y Helida León Gaitán por el apoyo que me han brindado porque gracias a su incansable entrega este proyecto ha podido realizarse a cabalidad. Al Doctor Juan David Amaya Espinel, por su supervisión, su disponibilidad y su interés en dirigir el proyecto de investigación de principio a fin. A mi codirector Lucas Rafael Ivorra Peñafort, por sus consejos para desarrollar la metodología y por su intención de hacer un seguimiento riguroso a todo el proceso de redacción del documento final y la ejecución de las pruebas. También quiero agradecer a todas las personas que me brindaron su colaboración y conocimientos en momentos clave de la investigación: Martha Manrique Torres, por su amable disposición a enseñarme cómo usar los equipos del centro tecnológico de automatización industrial de la facultad de ingeniería; a Christian Ricardo Zea por su colaboración y atención; a Eva López-Fernández por su arduo trabajo de campo porque me apoyo durante el proceso de colectas de material botánico; a Erika Muñoz Larsson y todo su equipo, por su colaboración con el diseño experimental de las pruebas de uso y las encuestas de satisfacción para los usuarios; a Leonardo García Ocampo, a Nataly Pérez, a Luz Lenny Cajamarca, a Eddy Herrera y a Ovidio Rincón Becerra por la ayuda con el diseño de los ensayos de tensión y compresión.

RESUMEN

La conservación de la vegetación es clave para la biodiversidad y el bienestar humano pues genera servicios ecosistémicos (proporción de alimentos, agua limpia, suelos fértiles, polinización de los cultivos etc.) gracias a sus atributos funcionales. No obstante, a pesar de la importancia de los diversos atributos funcionales de la vegetación, muchos de estos aún no son conocidos, ya que existe un vacío de información tanto de las funciones que proveen dentro de los ecosistemas como de otros usos potenciales que puedan llegar a tener. De ahí que con base en reportes en la literatura y observaciones del autor sobre el uso potencial de las especies del género *Equisetum* como tubo para beber por succión, se decidió realizar una evaluación del potencial de *Equisetum giganteum* para desarrollar pitillos en el municipio de Alban (Cundinamarca). La importancia y pertinencia de este estudio radica en la creciente problemática mundial de los residuos plásticos, que contaminan el ambiente y amenazan el bienestar humano a nivel mundial. Por lo tanto, esta problemática requiere de la búsqueda de alternativas novedosas que además de ser biodegradables, no generen grandes impactos al ambiente durante su manufactura y que no requieran de una transformación costosa.

Para evaluar el potencial de *Equisetum giganteum* para ser usado como pitillo se realizó una triangulación metodológica en donde se desarrollaron pruebas de usabilidad, encuestas a usuarios de pitillos y pruebas de laboratorio que incluyeron los siguientes tipos de ensayos: ensayo de migración global, ensayo de tensión, ensayo de flexión, ensayo de compresión, pruebas de succión y biodegradación de pitillos plásticos, de papel y tallos de equisetos, los cuales pusieron a prueba la resistencia del material de los equisetos ante las fuerzas a las que se ven sometidos por manipulación y succión, así como también su viabilidad como producto seguro para entrar en contacto con alimentos acuosos. En la última fase del proyecto de investigación se realizó un análisis del ciclo de vida de los tallos de los equisetos usados como pitillos enfocándose en la fase de posconsumo, para determinar si este producto puede llegar a tener un menor impacto ambiental que el estado actual.

En cuanto a los resultados, se evidenció, que los encuestados que utilizaron el pitillo biológico de *Equisetum* manifestaron una alta satisfacción al utilizarlo para sorber jugos en las pruebas de usabilidad. Por otro lado, el ensayo de migración global determinó que las sustancias migrantes del pitillo biológico de *Equisetum giganteum* a los simulantes de comida (etanol al 10%) se mantienen dentro de lo permitido por la norma NTC 5022 con una migración máxima de $3.3\text{mg}/\text{dm}^2$. El resultado de la primera prueba física midió la variable de resistencia a la tensión en los equisetos, la cual superó a la resistencia a la tensión de otros tipos de pitillos evaluados (papel y plástico). Además de esto, tanto los pitillos plásticos como los de equisetos tienen una resistencia a la compresión similar ($0.35\text{ N}/\text{mm}$ para una deformación del 20%) y este último tiene una resistencia a la flexión de 0.21 Mpa al igual que los pitillos de papel, mientras que el pitillo plástico se puede doblar con un menor esfuerzo (0.06 Mpa). En cuanto a las pruebas de succión, se observó que los equisetos tienen una mayor capacidad de transportar líquido que los pitillos convencionales cuando fue usado en el jugo de piña, debido a su particular fenotipo biológico (sistema vascular con canales carinales). Por último al comparar las proporciones resultantes de la prueba de biodegradación se observa que no hubo cambios significativos en la pérdida de masa por acción de los microorganismos en los pitillos plásticos (del 100% - 99.62%) después de las 4 semanas de monitoreo. En cambio, las proporciones de pesos iniciales y finales de los pitillos de papel (del 100% - 74.97%) y de equisetos (del 100% - 54.31%) sí mostraron grandes diferencias. Después de realizar el análisis estadístico y de comparar los resultados obtenidos de las pruebas citadas entre cada tipo de material, se concluye que existe un potencial de la especie *Equisetum giganteum* para ser usado como pitillo bajo las condiciones específicas de este estudio. Por lo cual se recomienda en próximos estudios, realizar investigaciones demográficas a profundidad sobre los efectos que implican las cosechas de tallos para las poblaciones silvestres de la especie *E. giganteum*. Esto con el propósito de proponer una tasa de cosecha que garantice la supervivencia de la población de interés. También se recomienda experimentar diversos métodos de cultivo orgánico para el establecimiento de poblaciones exsitu que puedan ser viables en términos de costo-beneficio.

ABSTRACT

The vegetation is key for the conservation of biodiversity and the human wellbeing. It generates ecosystem services thanks to their functional traits (Binder, 2013). However, despite the importance of the functional traits of vegetation, many of these traits aren't yet known. For the case of the plants that give us provisional services and that also are used by artisan producers, there is a lack of information regarding the functions that they provide in the ecosystems, as well as other potential uses that they could eventually have (Garcia, 2007). With base on observations of the author, and reports in the literature about the potential use of the *Equisetum* genus as a straw (liquid suction tube for drinking), the potential of *Equisetum giganteum* was evaluated for developing straws in the municipality of Alban (Cundinamarca). The importance and pertinence of this study lies on the increasing environmental problem of plastics and microplastics residues, that pollute all the ecosystems and pose a threat for human health and welfare in a global scale. For these reasons, this problem requires an intense search for new and innovative alternatives that besides of being biodegradable, doesn't have great environmental impacts during its manufacturing and that require low cost in their transformation. Thus, a methodological triangulation was the approach of this exploratory research, in were usability tests were developed, also surveys to the users of the biological straws were conducted, and some laboratories that included the following types of tests were carried out: global migration test, tension test, flexion test, compression test, suction test and biodegradation of plastic straws, paper straws and equisetum stems. These tests put in trial the resistance of the equisetum material to the forces to which they are subjected by the manipulation and suction when used as a straw, as well as its viability as a secure product for entering in contact with food stuffs, through the total quantification of the transferred residues from the equisetum materials to the drinks. In the last phase of the project, a product life cycle analysis was made for the equisetum stems used as straws, as well as with the conventional straws (paper and plastic) focusing on the post-consumer phase, for determining if this product could eventually have a minor environmental impact, in comparison with the actual state. Considering the results, it was evidenced that the surveyed users, expressed a high satisfaction when they utilize the biological straws for sucking up juices during the usability tests. Moreover, the global migration test determined that the migrating residues of the biological straw to the simulant of food stuff (ethanol 10%) maintains its levels between the accepted parameter of the norm NTC 5022 with a maximum migration of 3.3 mg/dm². The result of the first physical test measured the variable of resistance to tension in the equisetum stems, which surpass the resistance to tension of the other types of straw evaluated (paper and plastic). Also, both the plastic and equisetum have a similar resistance to the compression (0.35 N/mm for a deformation of 20%) and the latter have a resistance to flexion of 0.21 Mpa as well as the paper straws, while the plastic straw could be bent with less effort (0.06 Mpa). As regards to the tests made using drinks of different viscosities for measuring the capacity of suction by the equisetum straws (suctions tests), it was observed that the equisetum has a bigger capacity of transporting liquids than the conventional straws when used on the pineapple juice, because of their particular biological phenotype (vascular system with carinal canals). Finally, when comparing the proportions that resulted from the biodegradation, it is observed that no significant changes, on the loss of mass caused by microorganism, happened on the plastic straws (from 100% - 99.62%) after the 4 weeks of monitoring. Instead, the proportions of final weight of the paper straw (from 100% to 74.97%) and of equisetum stems (from 100% to 54.31%) did show big differences. After carrying out the statistical analysis of each set of data and comparing the results obtained from the cited tests in each type of material, it is concluded that a potential of the *Equisetum giganteum* exist for being used as a drinking straw under the specific conditions of this study. For this reason, it is recommended for future studies, first, carrying out demographic studies about the effects that occur to the *Equisetum giganteum* plant when it is harvested. This with the purpose of proposing a harvest rate that guaranties the survival of the population of interest, and second, experimenting with diverse organic cultivation methods for the establishment of ex-situ populations that could by viable in cost-benefit terms.

I) FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

A) PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las ventajas del uso y producción de bienes compuestos por polímeros orgánicos (plásticos) para el desarrollo tecnológico de la medicina y el almacenamiento de alimentos, entre otros múltiples beneficios de este material para la sociedad, son innegables (Thompson, 2009). Desde 1940, los plásticos han permitido la transformación de la forma en que vivimos y nos relacionamos con la naturaleza (North, 2013; Seville, 2016).

A pesar de los múltiples beneficios de los plásticos para la sociedad, se calcula que esta industria está generando más de 300 millones de toneladas anualmente (North, 2013; Greenpeace, 2016; Cullen *et al.* 2012; Avio, 2016), de esta cifra, entre el 40 al 50 por ciento es destinado a la producción de desechables según Thompson (2009), Parker (2018) y Seville (2016).

A nivel de residuos sólidos municipales, los desechables plásticos contribuyen en la actualidad con el 12 por ciento del total de los residuos sólidos (EPA 2009 en Zaman, 2010) que se disponen en los rellenos sanitarios de Estados Unidos. Esta cifra es preocupante si se tiene en cuenta que hace 60 años era de tan solo el 1 por ciento (Zaman, 2010).

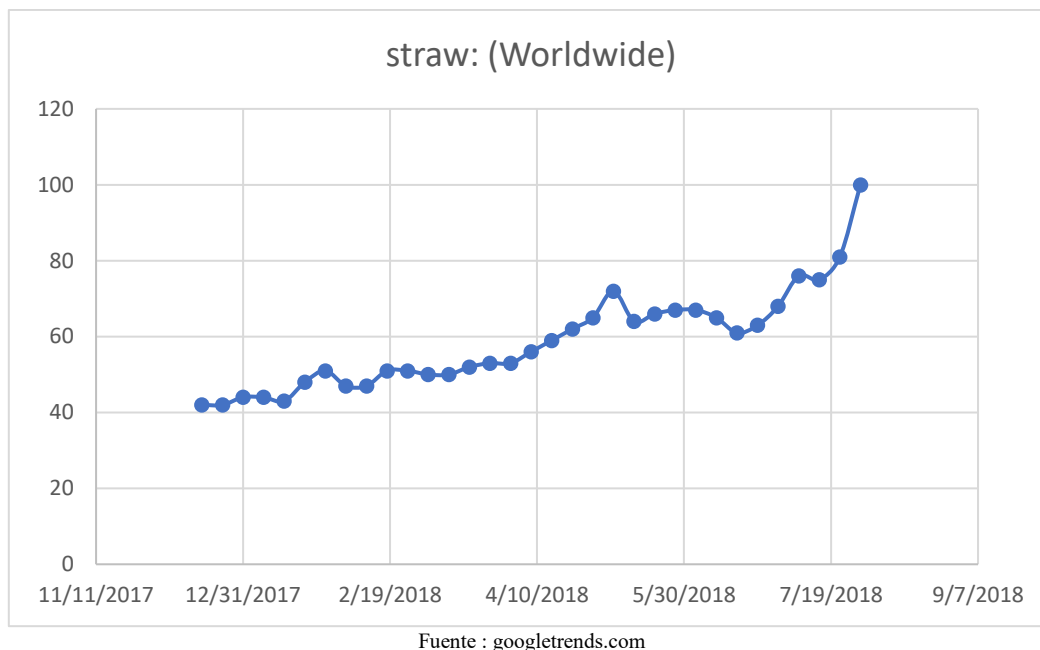
En 1960, la producción de plásticos apenas llegaba a los 7 millones de toneladas al año a nivel global, pero al ser un material fuerte, liviano, flexible, fácil de hacer y económico, se duplicó su producción en menos de 40 años, llegando a 160 millones de toneladas anuales en el 2000. Como el uso de desechables aumenta anualmente, se espera que para el año 2020 esta industria alcance 540 millones de toneladas (Elvin, 2015), es decir, que casi se va a duplicar en su producción actual. Por lo tanto también se duplicarán las problemáticas ambientales relacionadas como la mortalidad de fauna acuática, contaminación ambiental, acumulación de plásticos en los océanos, bioacumulación de microplásticos en los tejidos, y los efectos nocivos para la salud humana que dicha producción conlleva (Maldonado, 2012).

Uno de los productos plásticos desechables, que recientemente han sido más controvertidos a nivel de medios de comunicación, son los pitillos plásticos (Vélez, 2016). En este sentido y teniendo en cuenta el historial de búsqueda de pitillos plásticos en Google en los últimos meses (Gráfica No1.), es factible inferir que muchos consumidores conocen de las implicaciones ambientales de usar este producto desechable, que contribuye a la problemática de la contaminación por plásticos previamente citada, esto gracias a las incontables iniciativas desarrolladas en medios de comunicación en contra del uso de pitillos plásticos como *strawfree*, *be Straw free*, *the last plastic Straw*, *Strawwars*, *lonely whale* entre otros.

Sin embargo, a pesar de que recientemente se ha reducido su uso por las regulaciones adoptadas en empresas como Starbucks, McDonalds e incontables aerolíneas, los pitillos plásticos siguen teniendo acogida por razones referentes a la comodidad e higiene, por las cuales los usuarios los prefieren, en vez de poner los labios sobre el contenedor de la bebida que van a beber (Fenalco, 2016).

En Colombia también se le ha hecho frente a la contaminación por pitillos y otros residuos plásticos mediante las iniciativas foráneas y locales (*Colombia libre de plástico de Greeneace, Dale*

vida al plástico de Acoplasticos y es tiempo de actuar de Tag Heuer”)(Bermúdez, 2018) entre las que se encuentran los restaurantes Búfalo Wings, Wok, Crepes & Waffles y centros comerciales como el Parque la Colina. Estas organizaciones han diseñado diferentes campañas persuasivas para desmotivar su uso, obligando a las compañías productoras de este elemento a buscar nuevos materiales como los bioplásticos u optar por volver a los pitillos de papel (Vélez, 2016).



Gráfica No 1. Cantidad de búsquedas en Google relacionadas con pitillos

Frente a la posibilidad de la prohibición compañías como “Promociones Fantásticas”, fabricante mayoritario de pitillos en Colombia, ha reaccionado a esta situación elaborando nuevos productos plásticos con tecnologías que involucran aditivos minerales a los pitillos (tecnologías oxobiodegradables). Sin embargo, estas tecnologías han sido prohibidas en otros países porque suponen una fragmentación más rápida de los productos plásticos en microplásticos y no su biodegradación o asimilación por el metabolismo de los microorganismos como lo promocionan (European Commission, 2018). Por lo tanto y teniendo en cuenta las líneas anteriores se evidencia que el uso de pitillos plásticos desechables son parte del problema de contaminación ambiental por residuos plásticos en el país y en el mundo.

B) JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de mitigar los impactos de la problemática mundial de los plásticos se han adelantado diferentes programas para el uso responsable de este material, un ejemplo de ello es el Upcycling que consiste en la utilización de los residuos de las industrias como materia prima para la elaboración de nuevos productos con diferentes propósitos sin necesidad de recurrir al reciclaje de estos (McDonough & Michael Braungart, 2013).

Por otro lado, el reciclaje ha sido la aproximación más generalizada dentro de las 3Rs (reducir, reusar y reciclar), sin embargo, las industrias de plásticos desechables solo han logrado avanzar en la reducción (Bhatti, 2010) con una disminución en el calibre, diámetro y grosor de sus productos, ya que al disminuir estas variables, menor es el uso de materia prima y la rentabilidad de los productos se maximiza. Sumado a lo anterior, para mantener el margen de ganancias, las corporaciones de los plásticos desechables no promueven la reutilización por cuanto no les conviene que el uso de sus

productos sea más de una vez (Cullen *et, al.* 2012). Además, el reciclaje de los plásticos desechables es mínimo, precisamente por su bajo peso y bajo precio que lo hace poco atractivo para los recicladores de las grandes ciudades, ya que sus ingresos dependen del peso de la mercancía recuperada (Maldonado, 2012).

La inmensa variedad de tipos de plástico que se manufacturan en la actualidad generan que su reciclaje sea complejo. Primero, porque hay que separarlos de manera precisa para poder procesarlos mediante el reciclaje primario. En segundo lugar, porque tienen muchos aditivos que tienden a degradar las propiedades del plástico al reciclarlos mediante reciclaje secundario (Cullen *et, al.* 2012), esta complejidad para reciclar los residuos plásticos se evidencia con el nivel de reciclaje de plásticos a nivel global, ya que se estima que solo el 10% de los plásticos producidos se recupera (Parker, 2018).

Por otro lado, los productos de papel han sido promovidos como alternativa a los productos plásticos desechables como bolsas, vasos y pitillos, sin embargo, los consumidores siguen prefiriendo los productos plásticos por conveniencia, ya sea económica, o por la versatilidad de los plásticos (Colonna, 2010). Otra respuesta a esta problemática de los residuos plásticos y la contaminación que causan, ha sido la producción de los biopolímeros o bioplásticos, los cuales han sido desarrollados como material alternativo a los polímeros fabricados a partir de petróleo. A diferencia del plástico petroquímico, los biopolímeros tienen la ventaja de biodegradarse bajo condiciones de compostaje industrial, lo cual reduce la contaminación del medio ambiente por su rápida transformación en biomasa y agua, sin embargo, los biopolímeros generan problemas en el reciclaje debido a que son incompatibles con los polímeros derivados del petróleo o gas natural (Maldonado, 2012).

Actualmente el uso de los pitillos plásticos desechables ha causado gran polémica en el mundo gracias al esfuerzo conjunto de iniciativas contra los pitillos plásticos como *strawfree, be Straw free, the last plastic straw, strawwars* y *lonely whale* que vienen trabajando desde hace 4 años para eliminarlos de restaurantes, bares, cafés etc.

Aquí conviene detenerse un momento a fin de resaltar que para el año 2015 se publicó en YouTube un video de una tortuga marina a la cual se le atoro un pitillo plástico en una de sus fosas nasales, este video viral (<https://www.youtube.com/watch?v=4wH878t78bw>), subido a la web por una bióloga marina de Texas que se encontraba estudiando tortugas marinas en Costa Rica, muestra durante 20 minutos, el sufrimiento del animal al intentar retirar el plástico de su cuerpo. A la fecha este video tiene más de 30.7 millones de vistas lo cual impulsó aún más a las iniciativas en contra de los pitillos citadas.

Aquí vale la pena referirse también a la ciudad de Seattle, que se convierte en la primera ciudad en prohibir el uso de pitillos plásticos desechables, después de una lucha de 10 años por aprobar esta regulación que ordena poner multas de 250 dólares a quienes no acaten la regla, en la actualidad solo se pueden ofrecer pitillos alternativos a los plásticos convencionales. Así mismo, sumada a esta tendencia mundial desde junio del presente año, compañías multinacionales como Starbucks han anunciado reducciones en el uso de pitillos plásticos desechables que se realizarán paulatinamente hasta eliminar por completo el uso de mismos en el 2020.

Por su parte en Colombia, la problemática del plástico se puede visibilizar tanto en los bajos niveles de reciclaje de estos materiales (solo el 10 por ciento de estos residuos son recuperados en Colombia, según afirma la UAESP en el 2015), como en las cantidades producidas. Ya que se estima que cada año, 2 millones de toneladas son manufacturadas, de estas, 150 toneladas corresponden a los pitillos plásticos (com. per. MADS, 2017). Lo que ha llevado a que en el presente año, se haya radicado en el congreso de la república una propuesta en contra de los pitillos plásticos desechables por parte del representante del partido liberal, Harry Gonzales, en dicha propuesta se está estudiando

la posibilidad de aprobar un proyecto de ley que busca prohibir su uso el país.

Teniendo en cuenta la coyuntura de los eventos citados es ideal enfocarse en los pitillos plásticos para el presente estudio porque a pesar de que son solo una pequeña parte del problema cuando se habla de contaminación por plásticos y microplásticos, cambiar su uso por otras alternativas es un buen punto de partida para comenzar una transición en la que se empiecen a reemplazar los productos de plástico desechables por alternativas de menor impacto.

Por estas razones se considera que es pertinente y prioritario buscar nuevas opciones al uso de desechables plásticos (para el caso de este estudio los pitillos) mediante la prospección de especies nativas como *Equisetum giganteum* (Gallardo, 2006; Bernal, 2016). Esta especie perteneciente a la familia Equisetaceae, es una planta de porte herbáceo y de ciclo de vida perenne que presenta unos atributos morfológicos idóneos, como sus tallos huecos y erectos de 80 a 250 cm de largo, para ser utilizados como tubos para beber por succión (Triana, 2005). Sin embargo, aún no se conoce el potencial que pueden llegar a tener los tallos de esta especie para reemplazar a los pitillos plásticos por falta de estudios técnicos al respecto.

Varios registros de poblaciones del género *Equisetum* han sido obtenidos en ecosistemas subandinos de Colombia (Bernal, 2016), como es el caso de los relictos de bosque del municipio de Alban (Finca San Miguel, vereda Guayacandobajo) al noroccidente de Cundinamarca, donde sus poblaciones son abundantes y podrían llegar a ser aprovechadas de manera sostenible (sin afectar la población de manera significativa). A partir de muestras de los tallos de los equisetos tomadas de esta zona, se realizó un estudio del potencial de esta planta con el fin desarrollar tubos para beber por succión y para lograrlo se desarrolló un trabajo de campo, laboratorios, pruebas de uso y encuestas de satisfacción a usuarios de pitillos.

C. PROPÓSITO DEL PROYECTO Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Debido a lo anterior, el propósito de este estudio fue evaluar el potencial de la especie del género *Equisetum* (*Equisetum giganteum*) como producto capaz de ser una alternativa al uso de los tubos plásticos para beber por succión, es decir que mediante esta prospección se espera que se pueda crear (complementado con otros estudios a profundidad) un producto alternativo a los pitillos plásticos con esta especie nativa. De esta forma se podría en el futuro, dar mayor impulso a la tendencia que promueve el uso de productos biodegradables y así lograr aportar a la transición del problema de los pitillos plásticos para la sociedad Colombiana y el ambiente, con un producto que sea funcional que no genere grandes impactos ambientales negativos en todo su ciclo de vida y que además, impulse la economía de los campesinos. Dándole un nuevo valor a una especie que para ellos por lo general es considerada como una planta arvense dentro de sus cultivos. A largo plazo este sería el impacto esperado de este proyecto de investigación. A continuación como parte de la directriz de la investigación se generaron las siguientes preguntas:

PREGUNTA GENERAL:

¿Qué potencial tiene la especie *Equisetum giganteum* para ser usada como alternativa al uso del pitillo plástico?

ESPECÍFICAS:

¿Los Equisetos (*E. giganteum*) podrían ser usados para succionar bebidas sin cambiar las propiedades de los alimentos con los que entrarán en contacto?

¿Cuáles serían las principales ventajas competitivas de usar los tallos de equisetos como pitillo comparativamente con los pitillos plásticos y de papel, teniendo en cuenta el ciclo de vida de estos productos evaluados en la fase de posconsumo?

2. OBJETIVOS

A) OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el potencial de los Equisetos (*E. giganteum*) para ser usados como una alternativa al uso de pitillos plásticos.

B) OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Evaluar el potencial de los Equisetos (*E. giganteum*) para ser usados como tubos de beber por succión mediante indicadores físicos, ambientales y sociales.

Analizar el proceso de manufactura y el gasto de recursos naturales asociados al ciclo de vida en la fase de posconsumo de los pitillos de plástico, pitillos de papel y tallos de Equisetos usados como pitillos con énfasis en la biodegradación de estos.

Evaluar si los tallos de los Equisetos usados como pitillos realmente pueden tener un menor impacto ambiental del que tienen los pitillos plásticos y de papel en la fase de posconsumo.

3. MARCO REFERENCIAL

A) MARCO TEÓRICO

La vegetación es clave para la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano ya que genera servicios ecosistémicos gracias a sus atributos funcionales (Binder, 2013), por ejemplo: el rápido crecimiento de las plantas pioneras que facilita la sucesión ecológica (servicios de soporte), el importante rol de las especies de plantas que fijan nitrógeno atmosférico en sus rizosferas para la fertilidad del suelo (servicios de regulación) o las plantas generadoras de alimento, medicinas y materias primas que nos prestan **servicios de provisión** (Lavorel, 2013). A pesar de la importancia de los diversos atributos funcionales de la vegetación muchas de estas funciones aún no son conocidas; en el caso de las plantas que prestan **servicios de provisión** y que son aprovechadas por productores artesanales, existe un vacío de información biológica y ecológica, tanto de las funciones que proveen dentro de los ecosistemas como de otros **usos potenciales** que puedan llegar a tener (García, 2007).

Teniendo en cuenta la importancia de promover el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad ante su progresiva pérdida por los impactos ambientales causados por las actividades humanas (cambio en el uso del suelo, introducción de especies invasoras, cambio climático) (Castaño, 2007), es pertinente y prioritario generar propuestas de uso y aprovechamiento sostenible de especies nativas de Colombia. En el país más de 156 especies de plantas medicinales y aromáticas son comercializadas (Villalobos, 2011). Dentro de este grupo, las plantas del **género *Equisetum*** no han sido objeto de prospección en el país a pesar de sus propiedades medicinales, artesanales y ornamentales (Gómez *et al.* 2012).

El **género *Equisetum*** se caracteriza por estar constituido de un pequeño grupo de 15 especies de las cuales solo 4 han sido reportadas en Colombia (Bernal, 2016). Estas plantas son de porte herbáceo y tienen un ciclo de vida perenne que presenta alternancia de generaciones heterofásica y reproducción a partir de esporas (Triana, 2005). Sumado a lo anterior se debe tener en cuenta que

estas plantas se relacionan filogenéticamente con los helechos, sin embargo, están distantemente emparentadas (Turner, 1999), ciertamente pertenecen a un linaje evolutivo antiguo (Sphenopsida) que dominó la corteza terrestre desde el Devónico tardío hasta el Carbonífero (Guillon, 2004). Esto a través de bosques extensos y densos que alcanzaban hasta los 30 metros de altura y que en la actualidad se encuentran en el subsuelo siendo importantes fuentes de petróleo (Pulido, 2007).

La amplia distribución de los **equisetos** en el mundo (a excepción de Nueva Zelanda y Australia) evidencia su éxito de eras geológicas pasadas (Stanich, 2009), sin embargo, en la actualidad la mayoría de las 15 especies que persisten, proliferan en el hemisferio norte, y solo unas pocas de estas especies se encuentran en regiones tropicales de África y Suramérica (Guillon, 2004). Por otra parte, dentro de los componentes teóricos principales de este estudio, es fundamental incluir a la **botánica económica**, ya que este campo de conocimiento es interdisciplinario y por lo tanto usa métodos como la taxonomía para identificar las especies que son objeto de estudio. Así mismo la botánica económica es considerada como el estudio de las plantas útiles para las actividades socioeconómicas del ser humano (Hill, 1965), por lo tanto también requiere usar métodos de otras disciplinas para describir los factores ecológicos que están relacionados con las especies útiles estudiadas como la reproducción vegetativa a partir de rizomas, la reproducción sexual mediante tallos reproductivos con estróbilos, la alternancia de generaciones, las tasas de crecimiento, entre otros (Pulido, 2007).

Por otra parte, la **bioprospección** es un componente primordial para el desarrollo de productos a partir de la biodiversidad pues reúne métodos para la **prospección** de recursos vegetales, como también genera investigaciones documentales sobre los **usos actuales** y **potenciales** de la biodiversidad, en este caso de la planta del género *Equisetum sp.* llamada *E. giganteum* (Gallardo, 2006).

Según Beattie (2011), “la **bioprospección** es la exploración sistemática de la biodiversidad para encontrar nuevos recursos de valor social y comercial”, que se pueden hallar en varias de las jerarquías que componen a la biodiversidad (biomoléculas, genes, especies, poblaciones etc.). Tradicionalmente, la **bioprospección** ha sido llevada a cabo por las industrias manufactureras, farmacéuticas y de agricultura, sin embargo en la actualidad los beneficios de la bioprospección se aplican en la acuicultura, la biorremediación, la biomimética, la nanotecnología entre otras.

Teniendo en cuenta que la bioprospección genera beneficios de origen natural para la humanidad y que no es posible predecir en qué ambiente o de cuál organismo se obtendrá el próximo descubrimiento, se ha establecido como objetivos principales de la bioprospección contemporánea: “el conservar la biodiversidad, el manejo sostenible de los recursos naturales y el desarrollo económico” (Beattie *et al.*, 2011).

Otro de los componentes teóricos de relevancia para este proyecto, son los recursos forestales no maderables en tanto que son considerados un eje fundamental en el desarrollo rural (Valdebenito *et al.*, 2015), ya que manejan conceptos sobre cómo hacer uso y transformación de recursos no maderables mediante la elaboración de propuestas de uso y aprovechamiento sostenible de la oferta natural de las especies.

Dentro de la teoría de la **economía azul**, creada por Gunter Pauli (2011), se desarrolla el concepto de la **economía circular** que consiste en la generación de productos diseñados pensando en no generar residuos después de que haya sido usado por el consumidor. En este sentido los productos compuestos por materiales biológicos no tóxicos son ideales pues su **contenido energético** no es tan alto comparado con otros productos industriales, donde la cantidad de energía que se requiere es muy alta en casi todas las fases del **ciclo de vida** (obtención de materia prima, procesamiento y manufactura, transporte, comercialización, uso y disposición final). Así mismo este componente del

marco teórico se relaciona con el **desarrollo sostenible** y cómo lograrlo a través de una transición desde nuestros **sistemas socioeconómicos SSE** (nada eficientes) a un sistema económico que imite los sistemas naturales (Valdebenito *et al.*, 2015; Pauli, 2011).

Por último, el **ciclo de vida de los productos** (Kramer, 2012) y servicios es fundamental para este estudio de prospección ya que permite analizar mediante métricas e indicadores ambientales cuales son las fases donde hay mayor impacto ambiental, ya sea por las formas como se extrae la materia prima, la cantidad de recursos que se requieren para la elaboración del producto, si hay que transportarlo grandes distancias para llevarlo a los consumidores, o si en el posconsumo el producto es considerado como residuo tóxico-peligroso.

B) EL GÉNERO *EQUISETUM*

Lista y distribución de especies del género Equisetum (familia Equisetaceae) en Colombia: La distribución en Colombia del género Equisetum es amplia y se registra de manera frecuente en los Andes y la Sierra nevada de Santa Marta. Existen registros en 24 departamentos del país (Bernal, 2016).

1-*Equisetum bogotense*: Región Andina, Sierra nevada de Santa Marta, piedemonte llanero, Amazonia, Antioquia, Arauca, Boyacá, Caquetá, Cauca, Cesar, Choco, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Tolima, Valle del Cauca y Caldas (Bernal, 2016).

2-*Equisetum xshaffneri*: Boyacá, y Norte de Santander (Bernal, 2016).

3-*Equisetum Myriochaetum*: Antioquia, Choco, Cundinamarca, Tolima y Valle del cauca (Bernal, 2016).

4-*Equisetum giganteum*: Región Andina, Choco, Putumayo, Serranía la Macuira, Guajira, Antioquia, Boyacá, Cesar, Choco, Cundinamarca, Huila, Nariño, Putumayo, Quindío, Tolima y Valle del cauca (Bernal, 2016).

1. *Equisetum bogotense*:

Tamaños partes vegetativas de las plantas: 5-80cm x 1-3mm

Edad de crecimiento probable (estróbilos): 4 a 6 meses

Morfología: Ramificaciones ausentes o escasas, estomas en bandas de 3-4

Rango altitudinal: 500 - 4500 m. (Bernal, 2016).

2. *Equisetum xshaffneri*:

Tamaños partes vegetativas de las plantas: 1.2 - 2.4 m

Edad de crecimiento probable (estróbilos): No evaluada en el país

Morfología: Híbrido entre *E. giganteum* y *E. myriochaetum*

Rango altitudinal: 700 - 2150 m. (Bernal, 2016).

3. *Equisetum Myriochaetum*:

Tamaños partes vegetativas de las plantas: 1-7.3 m x 1.8cm

Edad de crecimiento probable: No evaluada en el país

Morfología: Con líneas de estomas en cada lado de los tallos

Rango altitudinal: 1400 – 2200 m. (Bernal, 2016).

4. *Equisetum giganteum*:

Tamaños partes vegetativas de las plantas: 2-2.5 m x 5-15mm

Edad de crecimiento probable: No evaluada en el país
Morfología: Ramificaciones abundantes
Rango altitudinal: 600 - 3000 m. (Bernal, 2016).

Descripción botánica del género *Equisetum*:

Pertenece al grupo de las **plantas vasculares** sin flores ni frutos (Pteridofitos), dentro de la familia Equisetaceae. Estas especies se caracterizan por presentar asociaciones simbióticas con micorrizas ubicadas en los rizomas subterráneos que usan como forma de **propagación vegetativa** (Pulido, 2007). Es importante resaltar que forman **densas colonias** que penetran a más de 4 metros de profundidad en el suelo (Pulido, 2007).

Al ser homoesporofíticos su reproducción sexual se da por medio de esporas que son expulsadas de los tallos reproductivos o estróbilos (estructuras reproductivas similares a los tallos vegetativos). Estas esporas se caracterizan por tener una forma globosa de 75 micrones y también por estar adheridas a dos bandas que se enrollan entre sí. Cuando las condiciones de humedad y temperatura aumentan, dichas bandas liberan su energía cinética haciéndolas “saltar” a grandes distancias conservando las proporciones. Esta **estrategia reproductiva** ocurre durante las **estaciones lluviosas** (Villalobos *et al.*, 2011).

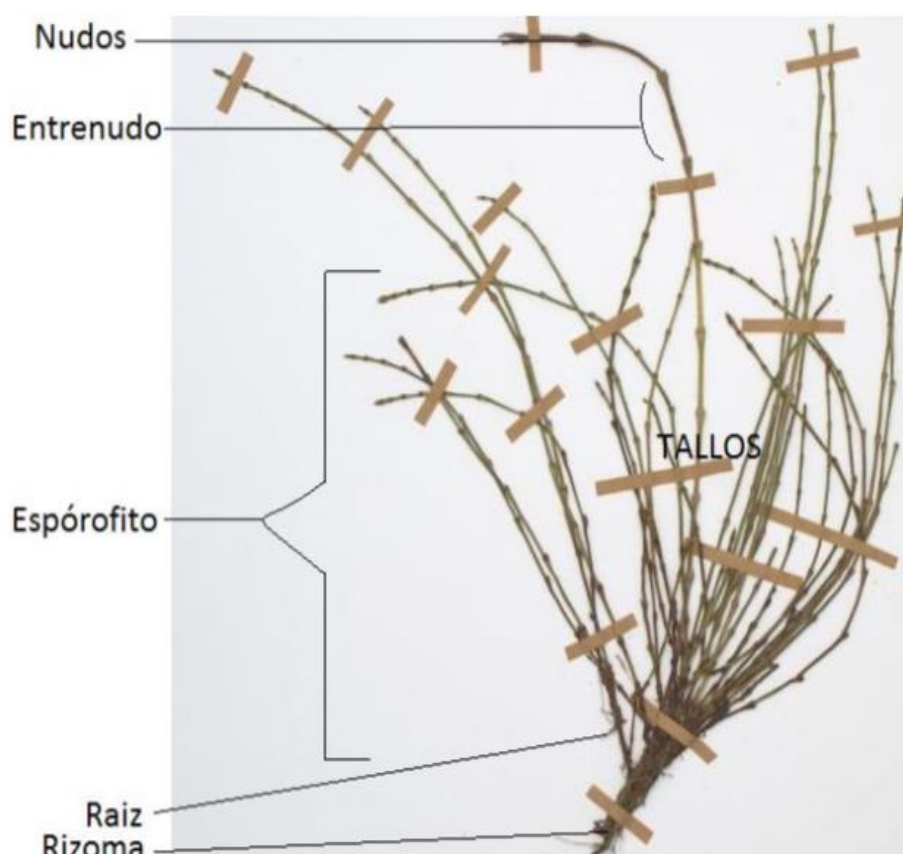


Fig.1 fuente: herbario UNAL

Figura 1. Morfología general del género Equisetum

Gracias a que los equisetos son considerados como el primer grupo de plantas afines a los helechos del que se tiene evidencia, también se los cataloga como fósiles vivientes. Estos se caracterizan por su morfología que es única en su género, con tallos fotosintéticos que en apariencia se ven desnudos y con crecimiento de ramas verticiladas (verticilos) donde se originan los microfilos no fotosintéticos

(Com. Per León, 2012).

En las partes principales del tallo principal se ubican los esporangios, que en el caso de esta familia botánica se conocen con el nombre de estróbilos. Los estróbilos son estructuras complejas conformadas por esporangióforos, los cuales están conformados por esporangios y estos a su vez tienen las esporas. Otras características morfológicas importantes son sus tallos que se componen de nudos (macizos) y entrenudos (huecos). Por lo tanto los nutrientes que absorben del suelo suben por las paredes mediante canales carinales (Com. Per León, 2012).

Caracterización funcional preliminar de los equisetos nativos de Colombia

En Colombia, se encuentran 4 especies de equisetos, de las 15 que existen en el mundo en la actualidad (Triana, 2005). Las cuales se caracterizan por tener una fisionomía y estructura de praderas enraizadas emergentes juncoideas (Camelo *et al.*, 2016).

Las especies del género *Equisetum* en Colombia, se ven representadas tanto en Bosques muy húmedos premontanos como en bosques muy húmedos montanos bajos (Mahecha *et al.* 2004) ya que requieren humedad abundante y permanente para establecer poblaciones abundantes (Murillo, 1990).

Varias de las poblaciones de equisetos en el país también se distribuyen en regiones con estacionalidad en las precipitaciones; según Triana (2005) pueden desarrollarse en abundancia cerca de los flujos de agua como humedales, quebradas y cascadas.

Los equisetos se caracterizan por estar asociados a diferentes ecosistemas acuáticos como los humedales, quebradas y ríos, por lo tanto, poseen atributos funcionales que aportan a la generación de los servicios ecosistémicos de los sistemas naturales donde habitan.

Al ser **productores primarios** que producen coberturas abundantes sobre el sustrato, facilitan la generación de **microclimas** que favorecen el establecimiento de otras especies, por ejemplo, en el caso de los humedales, se ha encontrado que especies como *Hydrocotyle umbellata* se ve favorecida por *Equisetum spp.* (Camelo *et al.*, 2016).

Como parte de la revisión teórica, se identificó una Lista de los **atributos funcionales y servicios ambientales** ofrecidos por el género *Equisetum*.

-Servicios de aprovisionamiento:

1. Materias primas. Tenemos como ejemplo el “polvo de equisetum” obtenido al quemar los tallos vegetativos, el cual sirve para pulir metales y madera gracias a su alto contenido de sílice (Murillo, 1983).

2. Recursos medicinales. Los tallos preparados en diferentes presentaciones, como infusiones tienen leves propiedades diuréticas y astringentes comprobadas por estudios clínicos (Rua, 2016). También se le atribuyen otras propiedades medicinales de uso tradicional como: para el tratamiento de la anemia, para la debilidad, problemas de garganta, heridas, reumatismo, úlceras estomacales, problemas de vejiga entre otras (Gallardo, 2006; Rua, 2016).

-Servicios de regulación:

1. Regulación hídrica. Para el caso de *E. giganteum* gracias a sus raíces de gran envergadura de 3-4 metros ayudan a retener la humedad en el suelo.

2. Transporte y retención de nutrientes. Se han documentado asociaciones simbióticas entre *Equisetum spp.* y micorrizas (Pulido, 2007).

3. Control de la erosión. Estas especies al crecer en las orillas de los cuerpos de agua, evitan la pérdida de suelo por erosión, manteniendo la fertilidad del suelo en estas zonas y evitando la reducción de productividad pesquera en los cursos inferiores de los ríos (Camelo, 2016).

4. Secuestro y almacenamiento de carbono. Gracias a sus tallos fotosintéticos y su crecimiento en praderas enraizadas abundantes almacenan gases de efecto invernadero al crecer en biomasa.

-Servicios culturales:

1. Algunos grupos indígenas, les atribuyen a los tallos de estas plantas propiedades emenagogas, que estimulan el flujo sanguíneo, así como también, tienen un efecto antihemorrágico en heridas cutáneas (Rua, 2016).

-Servicios esenciales:

1. Aportan a la edafogénesis de los ecosistemas, ya que conforman asociaciones simbióticas con micorrizas que mineralizan la materia orgánica (Pulido, 2007).

-Servicios de apoyo:

1. Hábitat para especies. Facilitan la generación de microclimas que favorecen el establecimiento de otras especies (Camelo, 2016).

C) LA PROBLEMÁTICA DEL PLÁSTICO Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

El plástico como xenobiótico

Un xenobiótico es un material sintético que no es asimilable por la mayoría de los organismos y por lo tanto se trata de sustancias extrañas a la vida, debido a que la ocurrencia de la estructura química de estas sustancias ha sido extraña en la naturaleza hasta hace muy poco tiempo en la historia de la tierra, considerando que son compuestos sintéticos a base de petróleo elaborados por el ser humano en laboratorios y fábricas (Law, 2000).

Es así, que el plástico puede ser considerado como Xenobiótico porque a pesar de tratarse de un polímero orgánico, su estructura química no es asimilable por la mayoría de los organismos debido a la gran variedad de procesos industriales a los que ha sido sometido este tipo de material, y dichos procesos le han conferido una alta resistencia a la degradación biológica. Por lo cual se estima que todos los plásticos producidos en los últimos 50 años o más siguen presentes en el medio ambiente (Elvin, 2015), En este sentido y teniendo en cuenta la problemática actual de contaminación global de plásticos y microplásticos, se describen a continuación algunos de los impactos negativos de este material en los seres vivos.

Animales como las tortugas y los cocodrilos marinos, confunden los residuos de plásticos con sus presas más comunes, ya que por ejemplo, una bolsa plástica flotando a la deriva se asemeja a una medusa (Elvin, 2015). Existen evidencias fehacientes de este fenómeno gracias a autopsias realizadas a tortugas marinas que encontraron fragmentos plásticos tapando la entrada de sus estómagos (Laws, 2000) y autopsias realizadas a cocodrilos marinos que encontraron hasta 25 bolsas plásticas en sus estómagos (Elvin, 2015). Otros animales que también confunden fragmentos plásticos con su alimento son las ballenas, y se han documentado a 9 especies de cetáceos a las cuales se les han

encontrado grandes cantidades de redes de pesca y bolsas plásticas, en sus contenidos estomacales (CEE, 1987 en Laws, 2000). Según la National geographic, la cifra de bolsas plásticas desechables que se usan en el mundo anualmente está cerca de 500 billones (National geographic en Berners, 2011) esta cifra tan elevada ha hecho que se considere al plástico como el elemento más común manufacturado por el hombre (Elvin, 2015).

Por su parte hay una tendencia de ingesta de plásticos en el grupo de las Aves; específicamente en 50 de las 280 especies de aves marinas, ya que tienen un patrón de ingesta de fragmentos plásticos que tienen colores, formas y tamaños específicos. Este patrón sugiere que no los consumen por error (Laws, 2000). Por ejemplo el lorito mérgulo (*Aethia psittacula*) es una especie de pequeño tamaño que vive en las costas de Alaska y que ha sido observada consumiendo pellets de plástico y hasta fragmentos cilíndricos de plástico (pitillos) con frecuencia (CEE, 1987 en Laws, 2000) y aún más grave resulta que este comportamiento lo replican en su cuidado parental ya que se ha observado que literalmente les dan de comer a sus polluelos de estos mismos fragmentos plásticos, haciendo que no puedan alimentarse de forma adecuada. Estos fragmentos plásticos pueden llenar el estómago de las aves haciendo que estas sientan una falsa sensación de saciedad (Parker, 2018). Otros estudios que evaluaron especies de aves marinas del género *Fulmarus* encontraron que más de dos tercios de los individuos evaluados habían consumido plástico (Elvin, 2015).

Así mismo, los peces de menor tamaño, consumen pellets de plástico y con frecuencia se ha documentado que el contenido estomacal de peces, como el de la platija (*Paralichthys spp.*), están llenos de fragmentos plásticos de 2 a 5 cm de diámetro, lo cual causa bloqueos intestinales (Kartar *et al.* 1973), esterilidad y hasta la muerte (Elvin, 2015).

Según investigaciones de Charles Moore (2011) hay zonas del pacífico donde la fragmentación de los plásticos en microplásticos ha generado una capa densa en la superficie, con millones de partículas que tienen una altísima concentración, ya que superan en abundancia al plancton. También se encontró que alrededor de un tercio de los peces abisales evaluados (700 individuos de la familia Myctophidae) contenían plástico en sus contenidos estomacales.

Impactos en el agua

En términos de cifras se tienen datos del año 1988 que registran estimaciones de 1 millón de toneladas de residuos plásticos entrando al mar cada año (O'Hara *et al.*, 1998). Hoy en día la situación está lejos de mejorar pues más de 300 millones de toneladas de plásticos son producidos anualmente en el mundo, y de éstos, 32 millones de toneladas no son dispuestos de manera adecuada en rellenos sanitarios y entre 8 y 9 millones de toneladas son los que llegan al mar todos los años (Avio. 2016; Parker, 2018). Otros autores estiman cantidades de residuos plásticos en el mar aún más altas, por ejemplo, Elvin (2015) reporta en su libro "Pospetroleum Desing", que las estimaciones de las naciones unidas calculan en un 10% la proporción de plásticos que se usan todos los años y terminan en el mar, es decir, que más de 26 millones de toneladas estarían contaminando el océano anualmente, haciendo de este material el principal contaminante de los mares a nivel global.

En el mar, los plásticos se fragmentan por la acción combinada de la luz (foto degradación) y la oxidación. El plástico se convierte en biomasa a través de los microorganismos que colonizan la superficie de estos fragmentos, sin embargo, estos microorganismos crecen sobre esas superficies a tasas muy bajas debido a las propiedades de las cadenas de polímeros que componen a los plásticos, que les otorgan una alta resistencia a la biodegradación (Elvin, 2015). Por lo cual la cantidad de fragmentos, entre 1500 – 1700000 partículas por kilómetro cuadrado, solo sigue aumentándose y fragmentándose exponencialmente en pequeños trozos de ínfimo tamaño conocidos como microplásticos.

Los microplásticos entran fácilmente a la cadena alimenticia de más de 700 especies animales, los cuales causan problemas en algún punto de los sistemas digestivos, obstruyen vías, se bioacumulan, y son tóxicos para el organismo debido a que están constituidos por químicos como los retardantes de flama, que no solo son peligrosos por sí solos, sino que además al contacto con el agua, atraen e interactúan con otros contaminantes como los agroquímicos y desechos industriales (Avio, 2016), haciendo que estos compuestos sean ubicuos en el mar entero y además entren en los organismos de los animales generando tumores y problemas aún no conocidos (Parker, 2018).

Los últimos reportes sugieren que los grandes reservorios de estos desechos de microplásticos son algunas superficies del mar (corrientes oceánicas), el lecho marino en sus cañones submarinos, los polos glaciares y la comida de origen marino que comemos al pescar o cazar mejillones (Elvin, 2015). En cuanto a las corrientes oceánicas, los 5 giros son las de mayor magnitud del mar y debido a que arrastran la mayor cantidad de residuos en el mar, se ha documentado que han ido acumulando los desechos plásticos por décadas (Elvin, 2015).

Según Laws (2000) no solo los microplásticos causan problemas de contaminación acuática, los pellets de plástico, también conocidos como la materia prima del plástico, son pequeñas resinas con diámetros muy pequeños, haciéndolos la forma más conveniente de transportar este material hacia las fábricas donde se moldean en diferentes productos. Sin embargo, es común que algunos de estos pellets terminen entrando al mar, ya sea por naufragios de los barcos que los transportan o por que las plantas de producción los desechan. Estos pellets, tienen una forma muy similar a huevos de peces por lo cual muchos organismos marinos los consumen por error (Parker, 2018).

Impactos en el aire

En promedio para producir 1 kilogramo de plástico se requiere liberar entre 2 – 3 kg de CO_2 a la atmósfera (Cullen *et. al.* 2012), pero no es el único gas de efecto invernadero que genera, la huella de carbono incluye el impacto total que tiene un producto sobre el cambio climático y en este sentido el plástico genera en promedio otros 500 g de CO_2 equivalente por cada kilogramo manufacturado según Berners (2011).

La industria del plástico crece anualmente y por lo tanto cada año genera más emisiones de gases efecto invernadero involucrados en las emisiones directas de su manufactura, por ejemplo en procesos como la destilación del petróleo para separar sus diferentes componentes, la polimerización del etileno obtenido en resinas y el procesamiento de las resinas plásticas en pellets cilíndricos, que luego son transportados a las fábricas donde los necesitan para manufacturar infinidad de productos, e indirectas como la extracción del petróleo para hacer el plástico en primera instancia y el transporte de este crudo a una fábrica de plásticos (Cullen, 2012).

Impactos en el suelo

Recientemente se ha dado relevancia a la contaminación por microplásticos en los suelos pues existen datos que sugieren que la contaminación del suelo es aún peor que en el mar; según Machado (2018), hay una concentración de 4 a 23 veces más de microplásticos en el suelo que en el mar. Sobre todo, en zonas donde se han utilizado como fertilizantes a las llamadas enmiendas orgánicas a partir del compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (Machado, 2018). Esto es así porque los microplásticos, provenientes de fuentes como el lavado de la ropa, permanecen en el lodo aún, después de haber sido compostados y cuando se distribuyen por los suelos degradados estos microplásticos persisten.

Es decir, que las superficies de los microplásticos se vuelven ideales para alojar microorganismos patógenos que a su vez entran a la cadena alimenticia de forma más frecuente debido a la ubicuidad

de los fragmentos que se encuentran desde los cultivos de alimentos humanos, hasta el agua que llega a nuestros hogares; Es así como más de 32 millones de toneladas de plásticos, de los 300 millones que se producen anualmente, no se llevan a los rellenos sanitarios (Avio, 2016).

No obstante, los residuos plásticos que si terminan disponiéndose en los rellenos, son igualmente un problema, ya que generan lixiviados tóxicos como el bisfenol A, que si no son tratados en plantas de tratamiento de lixiviados impactan negativamente en los vertebrados e invertebrados que entren en contacto con dichos contaminantes debido a que tienen efectos sobre el sistema hormonal (Machado, 2018).

Teniendo en cuenta la situación en la que se encuentra el país Colombiano, según Planeación Nacional, más de 321 rellenos sanitarios se encuentran al borde del colapso (DNP, 2015), y aún más preocupante es la situación actual del relleno sanitario más grande del país, Doña Juana, que no tiene una planta de tratamiento de lixiviados con capacidad de procesar las 6000 toneladas de basura diaria que recibe por parte de la capital.

D) ANTECEDENTES

Los pitillos han sido usados para succionar bebidas desde los Sumerios, la primera gran civilización, que existió desde el año 5000 a.C hasta el año 1800 a.C y vivió en el territorio que hoy se conoce como Irak, en la cuenca del río Éufrates, (Martos, 2011). Los sumerios inventaron esta herramienta para beber cerveza, ya que sus recipientes tenían muchos cuerpos flotantes aglutinados que eran producto de la fermentación de los ingredientes con los que fabricaban la cerveza y que sin la ayuda de un pitillo, eran inevitablemente consumidos. Por lo tanto, sus pitillos impedían el paso de dichos cuerpos flotantes, mejorando así su experiencia con la bebida.

Los primeros hallazgos arqueológicos que evidencian el uso de pitillos se encuentran en pictogramas y escritos en cuneiforme (el primer sistema de escritura del mundo) que fueron descubiertos en tumbas sumerias, las cuales muestran representaciones pictóricas de figuras humanas bebiendo cerveza de recipientes mediante un objeto en forma de tubo del cual también se encontraron escritos de cómo elaborarlos mediante la aleación de metales y moldeado en moldes de barro (fig. 2, fig. 3) (Brooks, 2014).



Fig. 2 Fuente: www.metmuseum.org



Fig.3 Fuente: www.ancient-origins.net

Figura 2,3 uso de pitillos tablillas sumerias

Entre los objetos de metal fundido que los sumerios crearon se tienen registros de tubos muy similares a los pitillos modernos, pero mucho más largos, hechos de cobre y posteriormente bronce que elaboraron cuando aprendieron que el cobre se podía alea con un poco de estaño para producir el bronce aproximadamente en el año 3500 a.C. (Farndon & Parker, 2004). Los pitillos más sofisticados, que fabricaron los sumerios para la realeza, constaban de adornos en rocas preciosas, oro y plata (fig. 4) (Brooks,2014).



Fig.4 Fuente: sumeriashakespeare.com

Figura 4 Tubo de beber por succión sumerio

De forma similar a los Sumerios, en Suramérica, culturas precolombinas del pueblo Guaraní, territorio que actualmente se conoce como Paraguay, han utilizado desde hace siglos un tubo para succionar la bebida preparada mediante la infusión de las hojas verdes del árbol neotropical conocido como mate (*Ilex paraguariensis*), sin embargo, este pitillo, o bombilla como suelen llamarlo localmente, fue creado con el propósito de filtrar la infusión. Originalmente se utilizaba un junco hueco autóctono para sorber el mate (Dellacassa, 2007) al cual se le acoplaba un tejido en fibras vegetales finas que impedían el paso de las hojas verdes del té a la boca al succionar. En la actualidad, el mate se sigue bebiendo con bombilla, pero de acero (fig. 5).



Fig. 5. Fuente: www.mardete.com

Figura 5 Bombilla de Acero

Otro precursor de los pitillos modernos lo encontramos en los tallos huecos de diferentes especies de gramíneas como el trigo (*Triticum aestivum*) y centeno (*Secale cereale*); estos pitillos fueron utilizados por décadas gracias a la disponibilidad de estos por los grandes monocultivos de estas Poáceas para la producción de cereales.

Algunas de las patentes de finales de los años 1800 y comienzos de los años 1900 en Estados Unidos e Inglaterra estuvieron relacionadas con tubos de beber. (Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8) ninguna de las cuales tuvo éxito, probablemente debido a sus costos y a las propiedades de los materiales con las que se fabricaban, ya que eran de metales con conductividad térmica muy alta (Aristizábal & Manrique, 2017) que volvían incómodo para el usuario el manipularlo o colocar los labios en la boquilla porque las bebidas frías volvían frío el pitillo haciendo que se entumecieran los labios y las bebidas calientes volvían caliente el pitillo produciendo hasta quemaduras.

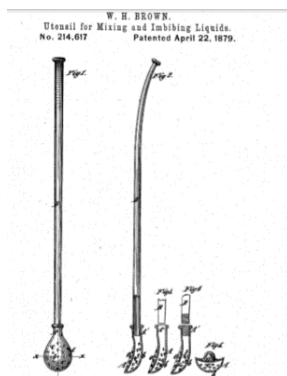


Fig. 6 fuente: patents.google.com

Figura 6 utensilio para Mezclar y succionar líquidos

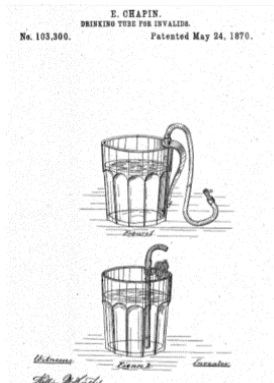


Fig. 7 fuente: patents.google.com

Figura 7 Tubo de beber para inválidos

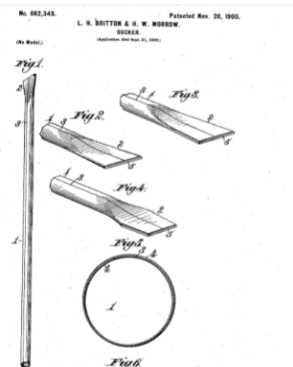


Fig. 8 fuente: patents.google.com

Figura 8 Tubo de succión

Hasta que el primer pitillo artificial desechable fue inventado por Marvin Chester Stone en 1888, quien quiso mejorar la experiencia de los usuarios de pitillos porque los tallos huecos de las gramíneas cambiaban el sabor de las bebidas después de poco tiempo de ser usadas. Además de esto, muchas veces, se rompían por su fragilidad haciendo que el usuario terminará succionando pequeños trozos del tallo de centeno o de trigo. Así fue como Stone ideó un nuevo pitillo usando papel, un lápiz y parafina como materia prima (fig.9) (Thompson, 2011).

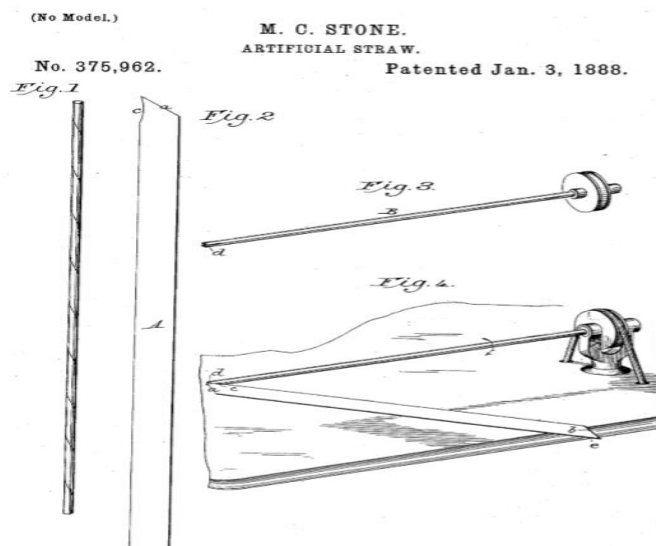


Fig.9 Fuente: patentimages.storage.googleapis.com

Figura 9 Pitillo artificial de papel de Stone

Mediante el desarrollo de maquinarias especializadas de la revolución industrial, se crearon mecanismos que enrollaban láminas de papel encerado en cilindros que posteriormente eran parafinados y pegados con adhesivos no tóxicos que a su vez volvían a ser encerados para impermeabilizarlos (Yanes, 2017). Posterior a la invención del pitillo artificial de papel y a su producción en masa, llegaría la última mejora exitosa al diseño de los pitillos gracias al inventor Joseph Bernard Friedman, quien vivía en la ciudad de San Francisco en el año 1937. Gracias a su pequeña hija Judith se inspiró e ideó, de forma sencilla, un pitillo flexible insertando un pequeño tornillo en un pitillo de papel al que luego presiono para que el papel se corrugara en forma de acordeón (Gibbens, 2018) (Fig. 10, Fig. 11)

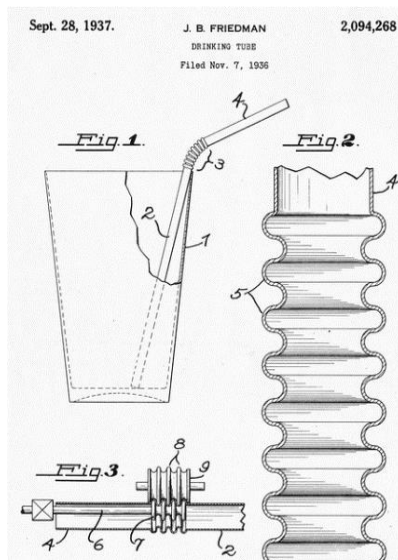


Fig. 10 fuente: patents.google.com

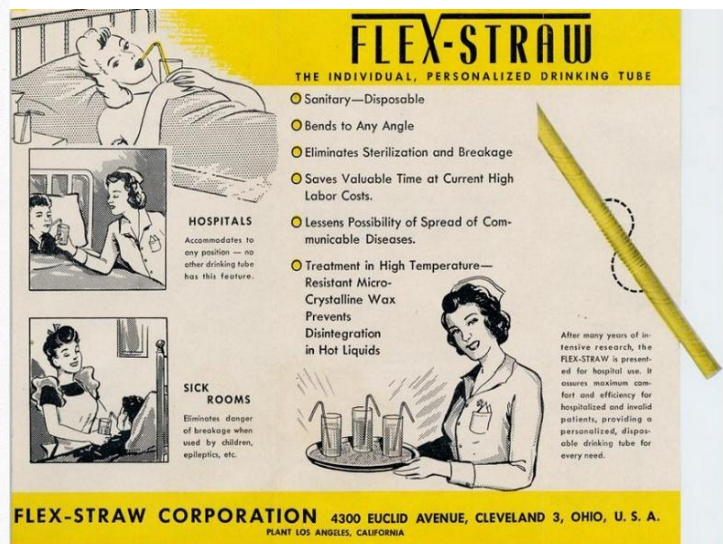
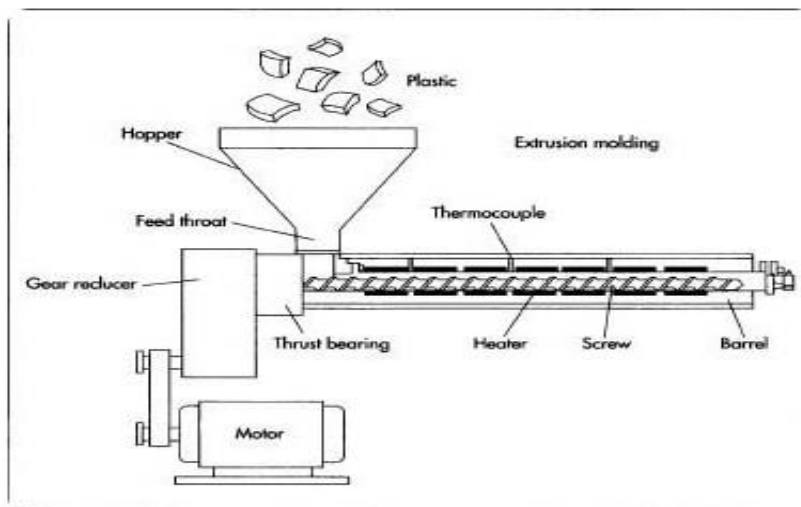


fig. 11 fuente: patents.google.com

El papel corrugado adquiere mayor flexibilidad para moverse sin romperse y manteniendo las paredes internas del pitillo separadas y por lo tanto no se evitaba el flujo de los líquidos (Yanes, 2017). Gracias al aumento en la oferta de los plásticos en el mercado, a comienzos de los años 60 sus precios fueron más rentables (Elvin, 2015), por lo cual varios productos que utilizaban como materia prima al papel fueron reemplazados por versiones de plástico. Entre estos productos se encontraban los pitillos de papel que inevitablemente pasaron a un segundo plano después de haber dominado por más de 40 años el mercado de la fabricación de los pitillos. En la actualidad, para la fabricación de pitillos de plástico se utiliza una máquina extrusora que utiliza la resina de polipropileno (resina obtenida mediante la polimerización de moléculas del polipropileno gaseoso) que primero es mezclado con plastificantes, colorantes, antioxidantes y estabilizadores, luego estos materiales son introducidos a la mezcladora de la extrusora, donde los compuestos son derretidos y mezclados obteniéndose plástico caliente moldeable que posteriormente es forzado a pasar por unos huecos finos de 0.3175 cm de diámetro obteniéndose de este proceso unas hebras finas de plástico las cuales son enfriadas con agua fría y cortadas en pequeños pellets (Richardson, 1974). Finalmente, usan los pellets transfiriéndolos a otra máquina de extrusión moldeadora que los calienta y luego los fuerza a pasar por un agujero que produce tubos huecos a los cuales se les da un tratamiento de enfriamiento mediante agua fría (Richardson, 1974). (Fig.12)

Fig. 12 fuente: madehow.com



En cuanto a los antecedentes locales, hay que tener en cuenta que debido a que este proyecto de investigación es de tipo exploratorio es difícil encontrar antecedentes temáticos a nivel nacional al respecto, sin embargo, se encontró durante la revisión de fuentes secundarias, un trabajo de grado titulado “Fabricación y comercialización de mezcladores biodegradables en tiendas especializadas en café

en la ciudad de Bogotá”. Este estudio exploró la posibilidad de producir un mezclador con los tallos secos del cultivo de trigo, sometiendo a dichos tallos a un tratamiento con la proteína llamada

Quitosano para volverlos más resistentes ante las altas temperaturas que deben soportar los mezcladores (Martínez et, al. 2017).

4. MATERIALES Y MÉTODOS A) DIAGRAMA DE FLUJO

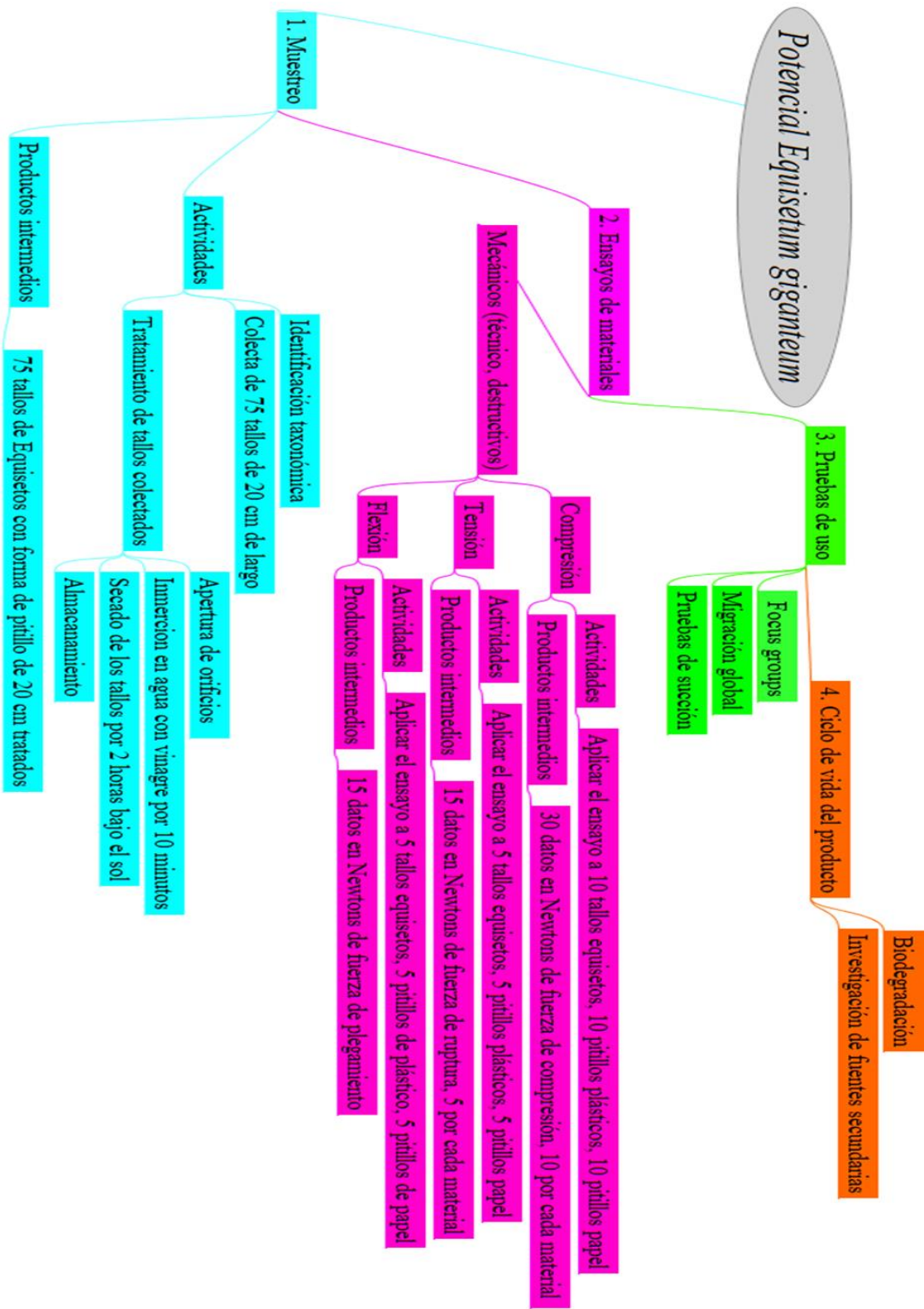


Fig 13. Fuente: elaboración propia

B) DISEÑO DEL ESTUDIO

Tipo de investigación:

La presente investigación utiliza el método Mixto (Cascante, 2011), el cual tiene por objeto la realización de un estudio a profundidad, teniendo en cuenta elementos tanto de las ciencias básicas como de las ciencias sociales. Esto obedece a que la investigación desde la ecología busca explorar los fenómenos del impacto ambiental desde una perspectiva holística integradora lo cual no reduce el enfoque a un solo tipo de línea investigativa. En este sentido, en el presente estudio se utilizan tanto métodos cuantitativos de la ciencia aplicada (laboratorios de física de materiales y laboratorios de microbiología) como métodos cualitativos (pruebas de usabilidad con usuarios de pitillos) para cumplir con los objetivos propuestos. La ventaja de este tipo de investigación es que permiten evaluar el potencial de los equisetos (*E. giganteum*) para ser usados como pitillos mediante “la aplicación de principios ecológicos para el descubrimiento de nuevos recursos” (Beattie, 2011) como también, mediante la obtención de varias fuentes de datos, observaciones y perspectivas teóricas que incrementan la confianza en los resultados obtenidos y de esta manera se pueden superar sesgos mediante la integración de datos.

La importancia de las metodologías de investigación social, de carácter cualitativo, para responder la pregunta de investigación: ¿Qué potencial tiene la especie *Equisetum giganteum* para ser usado como alternativa al uso del pitillo plástico desechable?, responde a la necesidad de evidenciar la percepción de los usuarios al usar los tallos de los equisetos como pitillos, y de esta forma saber si tienen aceptación como alternativa funcional.

Así mismo, la relevancia del estudio en el contexto metodológico que se propone obedece a la carencia de estudios técnicos de factibilidad sobre los equisetos como producto alternativo a los pitillos plásticos que se apoyen tanto en datos de variables cuantitativas continuas como en datos de variables cualitativas categóricas y que den cuenta del impacto ambiental y social que se puede dar con su uso como pitillos en la fase de posconsumo, ya que el impacto ambiental que se genera a partir de la fabricación de plásticos con insumos derivados de la industria petroquímica y que tardan cientos de años en biodegradarse, es muy alto en comparación con los impactos ambientales de la fase de posconsumo que se espera que los equisetos tengan sobre el ambiente al ser usados como pitillos. Por lo tanto, se realizaron los siguientes procedimientos con el fin de resolver los objetivos y responder a las preguntas de investigación (ver Diagrama de flujo, Fig. 15):

- En relación con el primer objetivo se requirió hacer un registro de datos en los laboratorios desarrollados sobre las muestras de los tallos de los equisetos que dieron cuenta de su resistencia y su usabilidad.
- Para el primer objetivo se realizaron las pruebas de usabilidad y encuestas con usuarios de pitillos para conocer su percepción sobre los equisetos como pitillos.
- Con respecto al segundo objetivo se realizó un monitoreo de la densidad de microorganismos que crecieron en las superficies de 30 pitillos de los tres materiales evaluados (plástico, papel, tallos de equisetos) sometidos a condiciones de compostaje durante 1 mes, complementado con los pesos iniciales y finales de estos para conocer cómo se están biodegradando.
- En referencia al segundo objetivo se realizó una revisión de información secundaria en artículos científicos y libros especializados que contenían antecedentes temáticos y contextuales para describir y profundizar en los ciclos de vida de los productos analizados (pitillos plásticos, pitillos de papel y equisetos como pitillos) enfocándose en la fase de posconsumo del producto.

Enfoque:

El tipo de enfoque del presente estudio es exploratorio e interpretativo, ya que se considera a la bioprospección como elemento fundamental para el desarrollo del proyecto, en la medida que permite el uso multidisciplinario de diversos campos del conocimiento como la microbiología, la física de materiales, los métodos de investigación social, el procesamiento de productos en el diseño industrial y la botánica económica para obtener los indicadores físicos, ambientales y sociales necesarios en este estudio y con los cuales se pudo explorar la biodiversidad en busca de nuevos recursos con valor comercial y social (Beattie, 2011) en este caso para desarrollar pitillos biológicos a partir de los tallos de los equisetos.

Fases: Para determinar el potencial de los Equisetos (*E. giganteum*) para ser usados como tubos de beber por succión mediante indicadores físicos, ambientales y sociales. se consideró necesario plantear las siguientes fases.

1. Fase de campo:

En relación con el objetivo general para determinar el potencial de la especie *Equisetum giganteum* durante la fase de campo se realizó un viaje a la finca San Miguel (Mapa No 1.), la cual fue elegida como el lugar de colecta de material botánico. Esta Finca se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera oriental, dentro del departamento de Cundinamarca (municipio de Albán), entre el centro poblado Bagazal y la vereda municipal Mave (vereda Guayacundobajo).

Por un lado es importante resaltar que en los alrededores de la finca San Miguel (Mapa No 2.) existe un sin número de quebradas pequeñas que desembocan en el río Villeta, lo cual es importante debido a que la especie *Equisetum giganteum* se desarrolla en abundancia cerca a los cuerpos de agua.

Por otro lado el municipio de Albán se caracteriza por tener 769 ha de relictos boscosos, de estas, 2 ha se encuentran dentro de la finca San Miguel, donde existen abundantes praderas juncoides de la especie *E. giganteum*, probablemente gracias a la topografía irregular de la zona (pendientes de 30-80%), a la alta humedad relativa de más del 90 por ciento, al alto nivel de precipitaciones que en promedio llega a los 1200 mm anuales, y a que el rango altitudinal (1900 – 2100 m.s.n.m) no supera los 3000 metros, ya que no se han reportado poblaciones de *E. giganteum* en zonas con mayores altitudes (Bernal, 2016).

Mapa No 1. Alban, Cundinamarca



Fig 14. Fuente: De Shadowxfox - Trabajo propio, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=208116>

Figura 14 Ubicación de Albán en Colombia, Cundinamarca

Mapa No 2. Área de colecta botánica

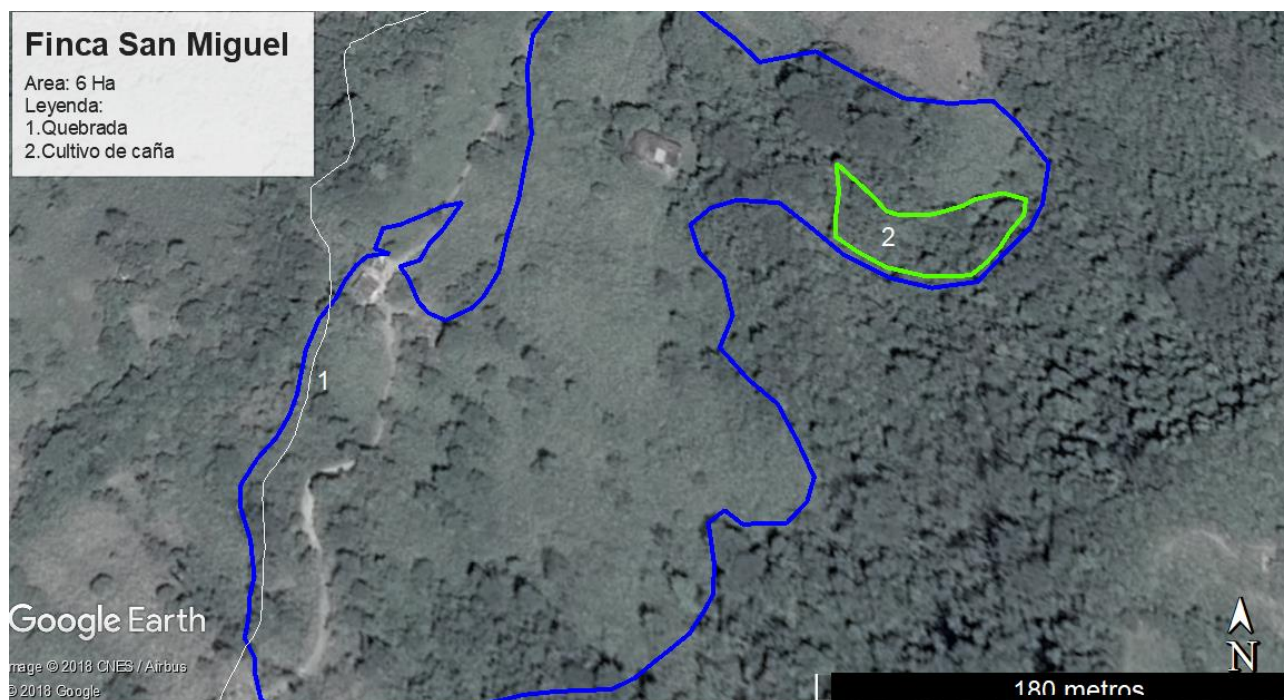


Fig 15. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Google earth.

Figura 14 Finca san miguel

En el primer mapa se delimita el área del Municipio de Albán en Cundinamarca. En el segundo se establecen los límites de la finca y los sitios de colecta (*E. giganteum*) con el objeto de visualizar las zonas donde hay mayor abundancia de los equisetos.

Muestreo y procesamiento de los tallos

En relación con el primer objetivo, se consideró como parte fundamental para determinar el potencial, la recolección durante dos días, en el área de estudio, de una muestra representativa y estandarizada de los tallos adultos no reproductivos de los equisetos sin afectar la supervivencia de las colonias. Aquí vale la pena señalar que, al no contar con un estudio poblacional para proponer una tasa de cosecha determinada, se optó por diseñar un muestreo partiendo de un principio de precaución de la siguiente manera:

Identificación científica de las especies *Equisetum giganteum*: en el área de estudio, mediante la determinación de la especie gracias a claves taxonómicas desarrolladas por Triana y colaboradores (2005).

En concordancia con la búsqueda del potencial se estableció como parte del estudio la obtención del número de tallos necesario para realizar las pruebas mecánicas de acuerdo con la norma para materiales plásticos ASTM D638 (Anexo 2), la cual se utilizó como metodología de referencia, puesto que se quiso comparar el desempeño de los tallos de los equisetos con el desempeño de los pitillos plásticos para responder a la primera pregunta de investigación y resolver el primer objetivo. Dicha norma establece que el número de repeticiones para hacer pruebas mecánicas para plásticos no isotensiles es de 10 ensayos, 5 transversales y 5 horizontales por tipo de prueba.

Por lo tanto, se colectaron los tallos (Anexos, Foto No. 1) en campo (Finca San Miguel, vereda Guayacundo bajo) y se planeó usar 10 tallos de *Equisetum giganteum* por cada una de las pruebas

mecánicas que se llevaron a cabo, para un total de 75 tallos de la especie como se detalla en la Tabla No 1. Teniendo en cuenta las particularidades de cada tipo de prueba. Los tallos que se colectaron tuvieron los siguientes requisitos o criterios de selección:

- Tallos adultos sin estructuras reproductivas en la parte distal del tallo es decir, sin estróbilos.
- Los cortes a los tallos se deben hacer lo más largo posible, para poder obtener la mayor cantidad de fragmentos de 20cm de largo, porque esa es la medida de un pitillo plástico estándar.
- Que tuvieran entre 5mm y 8mm de diámetro interno, que equivale a 15.7 mm de circunferencia o 25.12 mm de circunferencia respectivamente.
- Que tengan un calibre de entre 0.55 – 0.80 mm. Estas son las medidas que con más frecuencia se registran en los especímenes del área de estudio.

El tercer paso, consistió en transportar los tallos colectados a Bogotá, en donde el proceso de transformación fue llevado a cabo. Este procesamiento consistió en cortar los tallos en fragmentos de 20 cm, para que después fuera posible abrirles un agujero a los entrenudos macizos de los tallos cortados, atravesándolos longitudinalmente mediante varas de bambú reusables (Anexos, Foto No 2) que permitieron el paso de aire entre los extremos proximal y distal. Posteriormente se sometieron a un tratamiento de sanitización, mediante agua y vinagre (solución de ácido acético al 4 %), para esto se sumergieron los tallos durante 10 minutos en esta solución acuosa a temperatura ambiente (Katz, 2014). Este tratamiento se realizó con el propósito de eliminar microorganismos y así evitar el crecimiento de colonias de microorganismos aeróbicos sobre la superficie del equiseto, que podrían estar acelerando la biodegradación del material reduciendo su vida útil. Se continuó con él retiró del exceso de agua mediante centrifugación manual y se dejaron expuestos al sol, a una temperatura promedio de 20°C, durante 2 horas para secarlos. Finalmente se almacenaron los tallos tratados en recipientes de tapa ancha en un ambiente seco pero con circulación de aire. Después de este tratamiento, los tallos están listos para su uso como pitillos.

2. Fase de laboratorios:

Ensayos de materiales

Después de recolectar los tallos en campo y tratarlos para sanitizarlos y almacenarlos, se realizó la medición de indicadores físicos para lograr el primer objetivo de investigación. Los indicadores físicos propuestos fueron la resistencia a la tensión (medida en mega pascales, consiste en el máximo esfuerzo que resiste el material ante la tracción), la resistencia a la compresión (medida en newtons por milímetro, mide el máximo esfuerzo que resiste el material al ser comprimido) y la resistencia a la flexión (medida en mega pascales, consiste en el máximo esfuerzo que resiste el material al doblarlo por la mitad), estas variables fueron medidas en los tres tipos de materiales evaluados (Equisetos, plástico y papel) mediante el instrumento conocido como la Universal (Anexos, Foto No.4) para poder comparar las resistencias entre la propuesta de pitillo biológico frente a los pitillos convencionales y de esta manera poder responder a la pregunta de si los Equisetos podrían ser usados para succionar bebidas.

Todos estas pruebas se llevaron a cabo teniendo en cuenta los requerimientos de los ensayos de materiales, como: que la probeta (tallos) estuviera seca gracias a las dos horas de exposición al sol a las que fueron sometidas durante el procesamiento de los tallos, y que la velocidad de desplazamiento del ensayo fuera adecuada (10 mm/min) y estandarizada para todas las repeticiones, como también que la longitud de la probeta (tallos) al momento de hacer los ensayos fuera la misma para todas las réplicas (10 - 16 cm), entre otras. Todas las condiciones de las pruebas físicas se detallan en los protocolos adjuntos en el Anexo No 8.

Para los procesos de medición de las pruebas citadas, se requirió realizar las mediciones en el laboratorio del Centro Tecnológico de Automatización industrial (CTAI) de la facultad de ingeniería industrial de la pontificia universidad Javeriana, donde se desarrolló el proceso de utilización de la herramienta conocida como la universal. Esta máquina permite realizar ensayos de flexión, tensión y compresión (Anexos, Foto No 5) que arrojan resultados en unidades de esfuerzo vs deformación, con la cual se obtuvo el indicador de resistencia a la flexión, resistencia a la tensión y resistencia a la compresión reportadas en los resultados, los cuales consisten en el máximo dato de esfuerzo registrado por el ensayo (Aristizábal & Manrique, 2017).

En relación con la métrica de resistencia a la flexión, que fue el esfuerzo máximo de flexión registrado en cada ensayo con cada tipo de probeta, se dispusieron los 5 tallos y los 10 pitillos (5 de papel, 5 de plástico) de forma horizontal entre dos bases separadas por 10 cm, luego un indentador de la maquina universal los presionaba (a cada uno por separado) por el centro hasta que estos cedían, doblándose por la mitad. Por otra parte para la métrica de resistencia a la tensión, lo que se hizo básicamente consistió en aplicar fuerzas en sentidos opuestos sobre las probetas de los 5 tallos de equisetos y 10 pitillos (5 de papel, 5 de plástico) en disposición vertical, esta métrica permitió conocer la capacidad de deformación de los pitillos al aplicarle esfuerzos de tracción hasta que estos llegaban a romperse. Por último Para la Métrica de resistencia a la compresión, básicamente lo que se hizo fue aplicar una fuerza sobre las probetas de 5 tallos de equisetos y 10 pitillos (5 de papel, 5 de plástico) en disposición horizontal, esta métrica permitió conocer la capacidad de los pitillos de deformarse al aplicarle fuerzas de compresión sin que estos lleguen a romperse.

En la realización de estos ensayos se precisó un día de trabajo para cada material evaluado, en donde se utilizaron 15 muestras, 5 de cada material, por prueba para un total de 45 ensayos, por esta razón se consideró importante solicitar el préstamo de la herramienta conocida como la universal (Anexos, Foto No 3) por tres días en el laboratorio de CTAI de Ingeniería industrial de la pontificia universidad Javeriana, para hacer las pruebas tanto en los equisetos, como en los pitillos plásticos y de papel.

Es impórtate aclarar que solo se pudieron realizar 5 ensayos de tensión con los tallos secos de 20 cm, dispuestos en posición vertical, ya que los otros 5 ensayos de tensión con los tallos secos de 20 cm, en posición horizontal no fueron posibles, debido a las dimensiones de los tallos, lo mismo ocurrió con los pitillos de papel y pitillos plásticos, sin embargo durante el diseño del estudio se planeó llevar a cabo las 10 pruebas como sugiere la norma ASTM D638 en su numeral #7 (Anexo 2). Estas mismas recomendaciones se debieron tener en cuenta para hacer la prueba de compresión sobre 10 tallos de equisetos de 20 cm, 10 pitillos plásticos de 20 cm y 10 pitillos de papel de 20 cm, sin embargo no fue posible en todos los casos por la inestabilidad de las probetas al disponerlas en posición vertical, por lo cual solo se pudieron realizar 5 ensayos de compresión en posición horizontal para cada tipo de material.

Por un lado, para realizar el ensayo de flexión a tres puntos se planeó utilizar la máquina universal y un soporte que mantiene en posición horizontal a los tallos secos, estos recibieron una carga en el centro hasta que se doblaron. La distancia entre los soportes fue de 100 mm y la velocidad de 10 mm/min. La cantidad de este tipo de ensayo fue de 5 repeticiones, haciendo otras 5 repeticiones para los pitillos plásticos y otras 5 repeticiones para los pitillos de papel.

Por otra parte, los ensayos de compresión tuvieron que ser repetidos en las instalaciones del laboratorio de ensayos mecánicos Inter facultades de la Universidad Nacional debido a la poca sensibilidad de la máquina universal del CTAI. Para hacer las repeticiones fue necesario utilizar un tornillo indentado de 10 mm de diámetro que simula la fuerza que ejerce un dedo al manipular el pitillo. Adicionalmente para esta nueva prueba de compresión se requirió realizar 5 repeticiones para

la disposición horizontal a una velocidad de 5 mm/min. El tornillo indentado fue programado para tener una distancia de recorrido sobre las probetas de hasta un 60% de su diámetro, esto para evitar choques entre el tornillo y la base de la máquina. De igual forma se sometieron a estas pruebas a pitillos plásticos del mercado nacional, y pitillos de papel del mercado nacional. Finalmente se calculó la resistencia a la compresión siguiendo la norma NTC 1866 (Anexo 3), la cual indica que se debe obtener el número correspondiente a la carga que actúa en ángulo recto al eje de la pieza de ensayo correspondiente a la primera fuerza máxima de compresión en unidades de esfuerzo/deformación (N/mm).

Además de lo anterior, para responder al primer objetivo específico, También se realizó la medición del indicador de seguridad al contacto con los alimentos de los tallos de equisetos en el laboratorio de ecología de la Pontificia Universidad Javeriana. La medida que se proyecta es conocida como migración global, la cual consiste en el peso en miligramos/dm² de los residuos no volátiles transferidos desde los pitillos biológicos de equisetos a los simulantes de comida. Este indicador se obtuvo mediante la utilización del horno del laboratorio de Estudios ambientales y rurales, en donde se dispusieron muestras de los equisetos de 100 cm² bajo inmersión por cada prueba. Para obtener mayor confiabilidad en los resultados se requirieron realizar 10 de estos ensayos de migración global (NTC5022) (Anexo 4.) que dieron cuenta de la seguridad de los pitillos biológicos de equisetos al contacto con alimentos acuosos, esto es importante porque los tallos serán destinados a entrar en contacto con los alimentos, por lo cual es imprescindible determinar la cantidad de sustancias transferidas desde el material de los equisetos hacia las bebidas. Por lo tanto, para el indicador de seguridad al contacto con alimentos de los tallos de equisetos, se requirió de varios equipos como una balanza analítica, cronómetro digital electrónico, cajas de Petri, probetas de 100 ml, horno y etanol al 10 %, que permitieron medir la migración global de los constituyentes de los tallos colectados y transformados en pitillos al sumergirlos en etanol al 10%, bajo condiciones de temperatura específicas de 40°C por 10 días, esta prueba se realizó de forma simultánea con 30 tallos, es decir, 3 tallos por cada ensayo utilizando el horno del laboratorio de la facultad de estudios ambientales y rurales, al finalizar los 10 días se procedió a determinar el peso de la totalidad de las sustancias no volátiles de origen vegetal, presentes en el simulante de alimentos (etanol al 10%) restando la diferencia entre la muestra control (residuos no volátiles obtenidos de la evaporación de 120 ml de etanol al 10% solo) y la muestra de los equisetos aplicando la siguiente formula:

$$M = \frac{(ma - mb)}{S} \times 1000$$

Formula No 1. (migración global)

Donde:

ma: es la masa del residuo de las sustancias no volátiles obtenidas después de la evaporación de los tallos sumergidos.

mb: es la masa del residuo del simulante de comida (etanol al 10%) sin los tallos

s: es el área superficial de los tallos de los equisetos

después de esto, a los datos obtenidos de estas pruebas se les calculó la media aritmética y la desviación estándar para validar el cumplimiento con el parámetro aceptado en Colombia (menos de 8 mg/dm²), el protocolo detallado de cómo se realizó este procedimiento analítico se puede encontrar en el Anexo No 8.

También en relación con el primer objetivo de determinar el potencial de los Equisetos como pitillos se realizó la última prueba física que buscó medir la capacidad de succión de las paredes

internas de los tallos de equisetos mediante el pipeteador, que usualmente sirve para succionar reactivos; sin embargo, para este estudio, el pipeteador fue utilizado sobre 5 tallos secos de los equisetos por cada tipo de bebida utilizada (granizado, smoothie, jugo) para un total de 15 tallos, 15 pitillos plásticos y 15 pitillos de papel, con los cuales se determinó la funcionalidad de los tallos para succionar diferentes tipos de bebidas (con distintas viscosidades), registrando la cantidad de volumen que estos tallos logran transportar cotejada con los otros dos tipos de pitillos de las mismas dimensiones (20 cm de largo x 5 mm de diámetro con tolerancia de 3mm).

El esfuerzo de muestreo de los tallos de equisetos para las pruebas citadas se ejecutó teniendo en cuenta el tamaño de muestra necesario para realizar las pruebas mecánicas y sus respectivas repeticiones. Para esto se tomaron como referencia estudios de caso para pruebas de tracción que buscan evaluar las propiedades en materiales plásticos según la norma ASTM D638 (Clerici, 2010), donde por lo general se toman 10 muestras para realizar los ensayos. Por lo tanto, como se realizaron 5 pruebas de laboratorio (migración global, biodegradación, tracción, compresión, flexión) se planeó utilizar 75 tallos de equisetos (*E. giganteum*) como se resume en la siguiente tabla (Tabla No 1).

Tabla No 1. resumen del número de tallos, pitillos plásticos y pitillos de papel necesarios para realizar las pruebas según las normas.

# de ensayos por prueba (No de repeticiones por material)	Disposición del material tubular (plástico, papel, tallos)	
	Vertical	Horizontal
# de Ensayos de tracción (10)	5	5
# de Ensayos de flexión (5)	5	0
# de Ensayos de compresión (10)	5	5
# de Ensayos de rigidez (4)	20	0
# de Ensayos de migración (solo equisetos) (10)	30	0
Total, de material tubular (unidades)	175	30
pitillos de plástico	pitillos de papel	tallos de equisetos
68	68	75

Instrumentos de Investigación de la fase de laboratorios.

De acuerdo con el método de investigación seleccionado, se consideró fundamental para el estudio, el desarrollo de laboratorios de diferente orden, no obstante, en un principio se utilizó la observación de campo con el objeto de determinar la muestra mediante una tabla de seguimiento, con el objeto de llevar un registro de las acciones realizadas (Anexo 7).

Así mismo se desarrollaron los siguientes protocolos de laboratorios, los cuales pueden encontrarse de manera detallada en el anexo No 8:

a) Laboratorio de ensayo de tensión

Tema: medición de la resistencia a la tensión de los tallos de los equisetos mediante máquina de tracción (la universal) (Anexos, Foto No.4)

Objetivo: Conocer la resistencia a la tensión en Mpa a la cual los tallos de los equisetos se rompen

b) Laboratorio de compresión

Tema: medición de la resistencia a la compresión. (Anexos, Foto No 5)

Objetivo: Conocer cuál es la resistencia a la compresión en newtons por mm a la cual los tallos de los equisetos ceden

c) Laboratorio de migración global por método de inmersión total

Tema: migración global en los tallos de los equisetos.

Objetivo: conocer si es seguro utilizar los tallos desecados en el contacto directo con bebidas

d) Monitoreo de Biodegradación por método de conteo en cámara Neubauer

Tema: conteo de densidad de bacterias creciendo en fragmentos de tallos de los equisetos (Anexos, Foto No 8, Foto No.9), pitillos plásticos desechables y papel sometidos a condiciones de compostaje industrial y toma de medidas de peso inicial/final de cada probeta.

Objetivo: Comparar los pitillos plásticos, pitillos de papel y los tallos de los equisetos en términos de biodegradación por acción de los microorganismos edáficos.

e) Ensayo de flexión (flexión por tres puntos)

Tema: conocer cuál es la fuerza a la cual los tallos ceden cuando estos son flexionados.

Objetivo: determinar cuál es la fuerza a la cual los tallos de los equisetos ceden al momento de ser flexionados por el centro y compararlo con los pitillos plásticos y de papel

Pruebas con Usuarios y encuestas de satisfacción

Por último para terminar de responder al primer objetivo específico se consideró necesario implementar instrumentos de investigación social, estos consistieron en encuestas a 6 usuarios de pitillos los cuales utilizaron los pitillos biológicos de equisetos durante las pruebas de usabilidad (Anexos, Foto No 12) con el propósito de recoger datos cualitativos y cuantitativos que permitieron hacer la triangulación con antecedentes reportados en la literatura mediante revisión bibliográfica.

El propósito de las pruebas de uso fue evaluar la eficiencia del pitillo biológico (tallo de equiseto) para succionar bebidas teniendo en cuenta el tiempo que les toma a los usuarios beber 100ml, como también teniendo en cuenta las respuestas subjetivas de los usuarios finales (Anexo 6) y su percepción sobre la aceptación o rechazo del mismo como reemplazo a los pitillos plásticos.

Instrumentos de investigación social

El diseño de las pruebas con usuarios (evaluación de usabilidad) se realizó mediante pruebas de uso (Anexos, Foto No 12) y encuestas dirigidas a explorar la percepción de los usuarios con respecto al pitillo de equiseto, y conocer su aceptación como producto con posibilidad real de reemplazar a los pitillos plásticos en cuanto a utilidad y usabilidad, ya que para responder a la pregunta de investigación, ¿cuál es el potencial de *Equisetum giganteum* para ser usados como pitillo? fue prioritario evaluar el desempeño de los tallos en situaciones donde las condiciones de uso fueran similares a las que se usan con los pitillos en general (Rincón, 2017). Es así como para poder determinar el potencial de la especie *Equisetum giganteum* para ser usado como una alternativa al pitillo plástico, se procuró tener una muestra de 6 personas que representan a usuarios de pitillos a quienes se escogieron mediante los siguientes criterios de selección:

*Personas que han usado pitillos en los últimos 6 meses, entre 6 meses y un año y más de 1 año

*Personas que almuerzan de manera frecuente fuera de sus casas

*Personas de 40 a 60 años

*No se van a involucrar operarios de hombres o mujeres porque es un producto unisex

Tabla No 2 resumen de las proporciones requeridas de participantes para las pruebas de usabilidad y encuestas

Característica	Rango	Distribución de frecuencia
Edad	40 – 60	40 – 55 50% 50 – 60 50%
Grupos	6 meses 6 – 1 año Mas de 1 año	33% 33% 33%

Fuente: elaboración propia

Actividades específicas (diseño de la prueba):

Tabla No 3 definición de las variables experimentales de las pruebas de usabilidad:

Independientes	Dependientes	Control
Pitillo biológico	Cantidad de fluido succionado por unidad de tiempo (segundos)	Tiempo de realización de las pruebas: Horas de la mañana
	Confiabilidad del pitillo al hacer movimientos oscilatorios dentro de la bebida con este.	Iluminación
	Confiabilidad del pitillo al ser usado en 5 pasos	Temperatura de la bebida
	Respuestas subjetivas	Tipo de bebida
		Cantidad de bebida
		Temperatura de la sala

Fuente: elaboración propia

Diseño del experimento y definición de procedimientos:

Se realizó un diseño entre sujetos (grupos independientes), ya que en este tipo de diseño se pueden controlar los errores por agrupaciones desequilibradas utilizando la variable de agrupación de tiempo de último uso del pitillo descrita en el perfil del participante.

Forma en que se van a ejecutar los procedimientos:

Cada grupo de participantes hará las mismas tareas/actividades con las probetas (pitillos biológicos)

Orden: Desempeño del pitillo biológico al usar la probeta en 5 pasos (a. desempacar, b. introducir en bebida, c. manipular para llevarlo a la boca, d. succionar con los labios, e. mezclar): Entiéndase por desempeño la percepción de los usuarios en cuanto a si pudieron manipular el pitillo biológico para realizar las tareas de manera satisfactoria. En este paso se les entregó a los usuarios el producto y se les pidió que lo usaran para beber el líquido, después se registraron los resultados en la siguiente tabla.

Tabla No 4: Cantidad de fluido succionado en términos de tiempo

Tarea	La consistencia	Buena	Regular	Mala
Desempacar	Sensación de rigidez			
Introducir en la bebida	Sensación de rigidez			
Manipular para llevarlo a la boca	Sensación de rigidez			
Succionar con labios	No se deshace en la boca			
Mezclar	Sensación de rigidez			

Fuente : elaboracion propia

Cantidad de fluido en términos del tiempo: se les sirvió en los vasos 100ml de la bebida procurando que todos los vasos tuvieran el mismo nivel de líquido, se le pidió al participante que tomara el líquido con los pitillos. Simultáneamente se registró el tiempo con un cronometro digital

Al finalizar el experimento se realizó una encuesta de satisfacción a los participantes, mediante cuestionarios (Anexo 9), para conocer como calificarían estas 6 personas el desempeño del pitillo biológico generado a partir de los tallos de *Equisetum giganteum*.

3. Fase de análisis del ciclo de vida del producto

En esta fase se logró analizar el proceso de manufactura y el gasto de recursos naturales asociados al ciclo de vida en la fase de posconsumo de los pitillos de plástico, pitillos de papel y tallos de equisetos usados como pitillos con énfasis en la biodegradación de estos. Así mismo se determinó si los tallos de los Equisetos usados como pitillos realmente pueden tener un menor impacto ambiental del que tienen los pitillos plásticos y de papel en la fase de posconsumo.

Por lo tanto y en relación con el segundo objetivo de analizar el proceso de manufactura y el gasto de recursos por parte de los tres productos evaluados (pitillos biológicos de Equisetos, pitillos de papel, pitillos plásticos) se utilizó la información recolectada de fuentes secundarias. Sumado a esto, para determinar si los tallos de los equisetos usados como pitillos pueden tener un menor impacto ambiental en la fase de posconsumo (objetivo No 3) se realizó un monitoreo de la biodegradación bajo condiciones de compostaje (Anexos, Foto No 10, Foto No 11) mediante el conteo de microorganismos que colonizaron los fragmentos tanto de los tallos muestreados de los equisetos (Anexos, Foto No 8, Foto No.9), como de los pitillos plásticos y de papel mediante las cámaras de recuento Neubauer. Este proceso se llevó a cabo en 30 pitillos de cada material para un total de 90 pitillos, teniendo en cuenta tanto el peso inicial como el peso final. Todo este proceso tuvo una duración de 1 mes de trabajo y los datos obtenidos al aplicar la fórmula de densidad bacteriana se utilizaron para hacer comparaciones con la literatura.

Para realizar el monitoreo citado en líneas anteriores, primero se pesaron todas las muestras por cada tipo de material y se realizó la sumatoria en gramos, dando los pesos iniciales que se muestran en la tabla No 8. Posteriormente se dispusieron los tallos y pitillos de papel y de plástico en posición horizontal dentro de la pila de compostaje. Después de 8 horas se retiró una muestra por cada tipo de material, pesando cada una de ellas y se prepararon montajes para el microscopio utilizando una cámara de recuento celular llamada Cámara Neubauer (Fig. 19), la cual es una lámina portaobjetos especializada para determinar las concentraciones de microorganismos gracias a las cuadrículas microscópicas que tiene talladas en la superficie; por lo tanto, se utilizó esta herramienta al tomar las muestras de los tallos y los pitillos de papel y plástico semanalmente durante todo un mes. Para el montaje se realizó una dilución 1:10 (10 ml) de los tallos y pitillos con agua tratada sin microorganismos gracias a la utilización del sistema de purificación de luz ultravioleta del equipo de última tecnología que filtra, purifica y dispensa agua (ww.qws.co) llamado Bio cote. Al finalizar la cuarta semana se tomaron todos los tallos y todos los pitillos de papel y de plástico y se pesaron de

nuevo para obtener el peso final (tabla No 8).

Figura No. 16: Cámara de conteo de microorganismos.

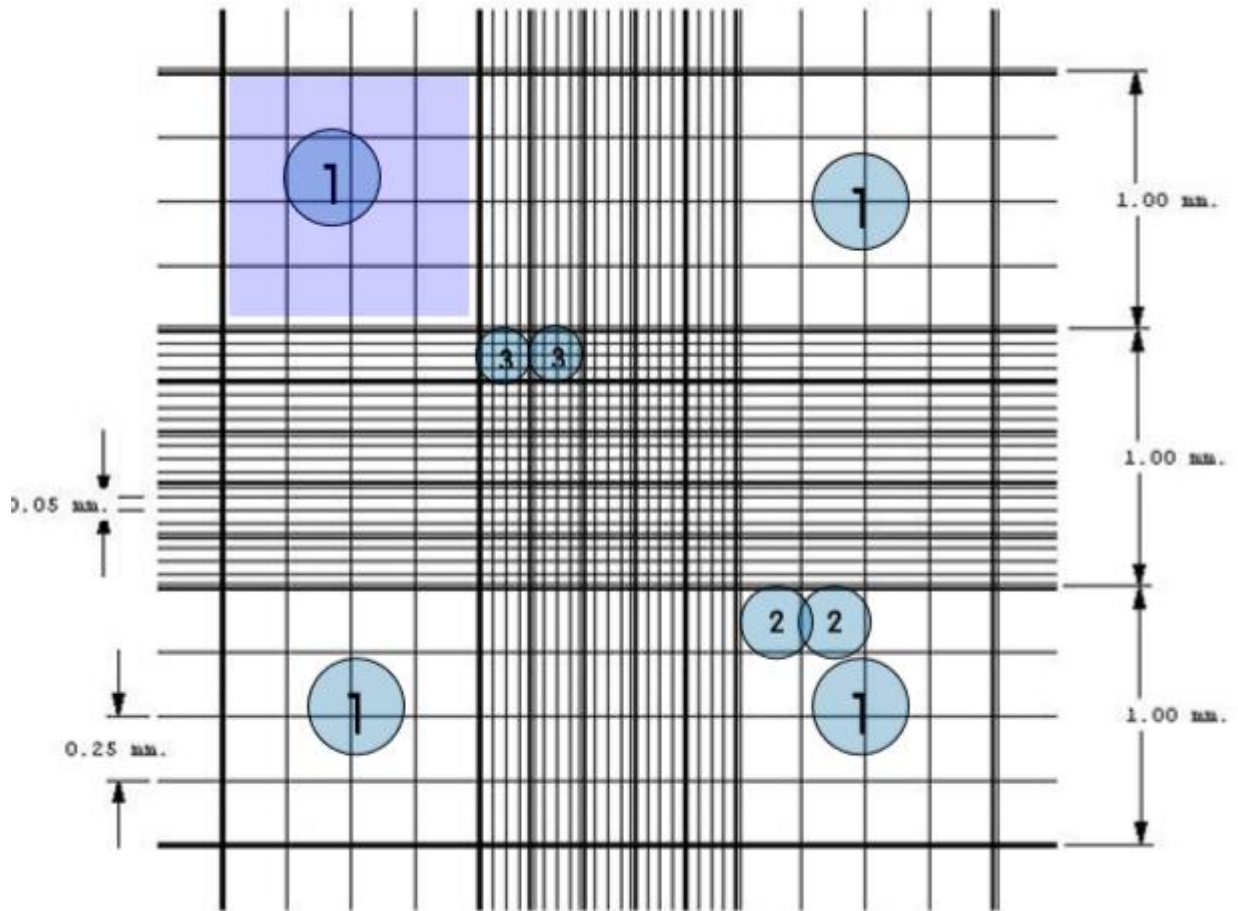


Fig. 16 fuente: Fórmula-Cámara-Neubauer-Concentración.pdf (Bastidas, 2007)

Para realizar la estimación de concentración de microorganismos se optó por hacer el conteo de microorganismos en 5 cuadros grandes de la cámara Neubauer por cada material, cada semana. Cada uno de estos 5 cuadros a su vez están divididos en 16 cuadros más pequeños para un total de 80 cuadros como se puede apreciar en la Figura 13 de arriba.

$$\text{Área} = 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} = 1 \text{ mm}^2 \quad \text{Volumen} = 1 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{-4} \text{ ml}$$

$$\text{Concentración celular} = \frac{\text{Total Células Contadas}}{\text{Número de Cuadros}} \times 10.000$$

$$\text{Concentración} = \frac{\text{número de células} \times 10.000}{\text{número de cuadros} \times \text{dilución}}$$

fuente: celeromics.com
Formula No 2. (concentración celular)

Al aplicar la fórmula (Fig. 20) de concentración celular a los resultados del conteo celular por cada semana comenzando desde el primer día de inoculación de los pitillos en la pila de compostaje se obtuvieron las concentraciones de microorganismos presentadas en los resultados.

Triangulación metodológica:

Se realizaron dos tipos de triangulación en este estudio para poder responder a los objetivos. El primero, relacionado con el segundo objetivo, consistió en la triangulación teórica, la cual se basa en comparar los resultados de las pruebas con la bibliografía. En segundo lugar, se realizó una triangulación Intermetodológica, relacionada con el primer objetivo, la cual, para el caso de este estudio, busca integrar los datos cuantitativos obtenidos de las pruebas físicas citadas, con los datos cualitativos obtenidos durante las pruebas de usabilidad con usuarios, y así mismo se compararon las características físicas de los tallos de las plantas con el plástico y el papel, mediante la determinación de los datos que se obtuvieron en los laboratorios y su posterior análisis estadístico con pruebas paramétricas o no paramétricas que más se ajustaron a la distribución de los datos obtenidos usando el software de análisis estadístico R. Este programa facilitó el proceso de análisis de los datos resultantes en los diferentes ensayos físicos sobre los tallos de los equisetos y también sobre las pruebas que midieron la capacidad de transportar líquidos de los tallos de los equisetos (prueba de succión). Por último, se realizó otra triangulación teórica en los datos mediante la revisión de fuentes secundarias complementado con los datos obtenidos mediante la prueba de biodegradación. El propósito de esto fue darle un mayor soporte al análisis del final del ciclo de vida del producto y llegar a responder si este tipo de pitillo realmente puede tener un menor impacto ambiental del que tienen los pitillos plásticos y de papel en la fase del posconsumo.

4. Fase de desarrollo del informe:

Esta fase fue transversal, por tanto, con ella se busca dar cuenta del trabajo desarrollado y de la interpretación de los datos.

C) MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Se compararon las características físicas de los tallos de las plantas con el plástico y el papel mediante la determinación de la distribución de los datos resultantes que se obtuvieron en los laboratorios y su posterior análisis estadístico con pruebas no paramétricas, que más se ajustaron a la distribución de los datos obtenidos usando el software de análisis estadístico R; este programa sirvió para analizar los datos resultantes en los diferentes ensayos físicos sobre los tallos de los equisetos.

A cada conjunto de datos resultantes de las pruebas físicas (ej. resistencia a la tensión de los pitillos plásticos, resistencia a la tensión de los pitillos de papel y resistencia a la tensión de los tallos de los equisetos) se les aplicó la función del programa estadístico R, llamada `fit.cont`, la cual provee información sobre el tipo de distribución que siguen los datos, por lo tanto esta prueba sirve para escoger la distribución continua más apropiada y ajustada a los datos resultantes.

Después de conocer la distribución de cada conjunto de datos se procedió a realizar las pruebas de hipótesis con el método de Spearman, la razón es que los datos por cada conjunto en cada tipo de prueba realizada son menores de 30, por lo que se tiene que aplicar una prueba no paramétrica. Además como el estudio es un análisis comparativo para poder observar si los equisetos pueden cumplir a cabalidad la función de pitillos se requirió hacer una correlación porque el objetivo es que los equisetos cumplan con las mismas funciones que los otros materiales de pitillos convencionales. Otros tipos de pruebas como la jerarquización no tendría el suficiente rigor como prueba estadística.

Entonces se definió la hipótesis nula como H_0 : "no hay correlación entre los equisetos y los otros tipos de pitillos al aplicarse la prueba "

Con la prueba de Spearman la hipótesis nula solo se acepta si ρ es igual a 0, de lo contrario aceptamos la hipótesis alternativa (H_1 : existe similitud entre los equisetos y los otros tipos de pitillos al aplicarse la prueba), es decir, que habría correlación y podemos concluir que se puede llevar a cabo

la función deseada con los tallos de los equisetos si la correlación es alta y positiva.

Sin embargo, si después de realizar la prueba de correlación de Spearman se acepta la hipótesis alternativa con un nivel de correlación bajo o negativo, se consideró importante realizar otra prueba que diera cuenta de la relación entre los tres tipos de materiales para responder al primer objetivo de manera más confiable. Por lo tanto, en dichos casos se procedió con el análisis estadístico desplegando dos diagramas (diagrama de dispersión y diagrama de caja-bigotes), con la intención de visualizar de forma más sencilla los datos y de esta forma poder realizar la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis y la subsiguiente comparación por pares de Tukey y Kramer (Nemwyi) con su respectivo análisis complementado con dichos diagramas.

Finalmente para el análisis de datos de los resultados de las pruebas de usabilidad con usuarios y las encuestas se utilizaron medidas de dispersión como también las medidas de tendencia central. También se compararon las proporciones de los tipos de respuestas entre los participantes de la encuesta de satisfacción. Por último se obtuvo el coeficiente de correlación para dar mayor soporte a los datos (en caso de obtener coeficientes pequeños) o realizar recomendaciones para nuevos estudios para reducir los posibles errores muestrales.

II) LOS TALLOS DE LOS EQUISETOS (*E. giganteum*) COMO ALTERNATIVA A LOS PITILLOS PLÁSTICOS

5. RESULTADOS

A) RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FÍSICAS

- Métricas de resistencias a la tensión, compresión y flexión: Se muestra a continuación una tabla (Tabla No 2.) resumen con los resultados del esfuerzo máximo de tensión, compresión y flexión que los tres tipos de materiales (Equisetos, papel, plástico) soportaron durante los ensayos, donde se puede observar que el máximo esfuerzo que las probetas pudieron resistir fue mayor en los equisetos que en los otros materiales para el caso de los ensayos de tensión.

Tabla No 5. Resultados ensayos de tensión (Megapascal), ensayos de compresión (Newtons/milímetro), ensayos de flexión (Megapascal)

Equisetos			Pitillos papel			Pitillos plásticos		
R. tensión (Mpa)	R. compresión (N/mm)	R. flexión (Mpa)	R. tensión (Mpa)	R. compresión (N/mm)	R. flexión (Mpa)	R. tensión (Mpa)	R. compresión (N/mm)	R. flexión (Mpa)
18.775	0.468	0.411	7.113	1.920	0.386	2.883	0.396	0.095
18.924	0.469	0.457	6.046	1.921	0.372	2.226	0.394	0.097
8.771	0.471	0.274	4.115	1.918	0.362	2.846	0.395	0.100
9.380	0.403	0.231	5.045	1.913	0.358	2.653	0.394	0.100
9.863	0.469	0.101	7.850	1.917	0.355	2.964	0.392	0.105

\bar{x}	13.143	0.456	0.295	6.033	1.917	0.366	2.714	0.394	0.099
σ	5.224	0.029	0.143	1.510	0.003	0.012	0.295	0.001	0.003

En la presente tabla se establecen los resultados comparativos a partir de tres pruebas: tensión compresión y flexión. Se comparan aquí los Equisetos, los pitillos de papel y los pitillos de plástico.

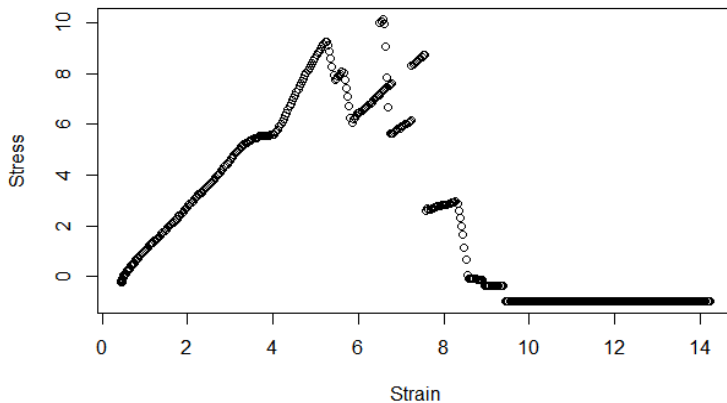
Prueba de tensión:

- **Gráficas de esfuerzo vs deformación de la prueba de tensión:** Se muestran a continuación las gráficas donde se resumen con los resultados de las 5 pruebas por cada tipo de material (equisetos, papel, plástico) el promedio de los esfuerzos de tensión que los tres tipos de materiales soportaron durante los ensayos.

Cabe aclarar que solo se obtuvieron 5 datos de la prueba de tensión vertical por cuanto la prueba de tensión horizontal no arrojó resultados debido a que la geometría de las probetas no permitió sujetar los extremos a las mordazas.

Grafica No 2.

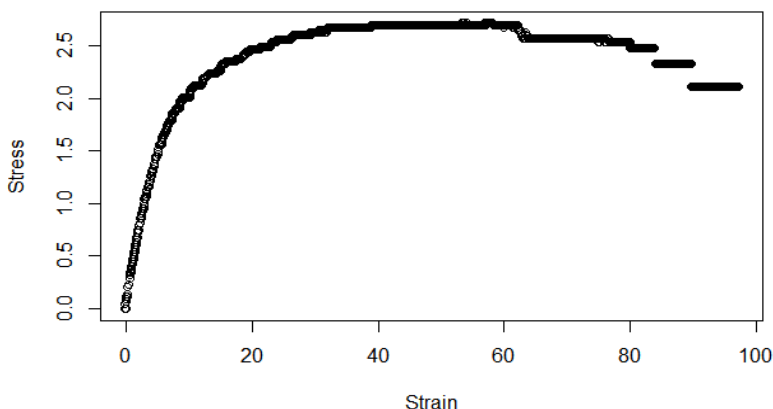
Promedio prueba de tensión Equisetos (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en Mpa)



La gráfica muestra claramente que para una deformación del 4 por ciento en los tallos de los equisetos, se tiene un esfuerzo promedio de 6 Mpa.

Grafica No 3.

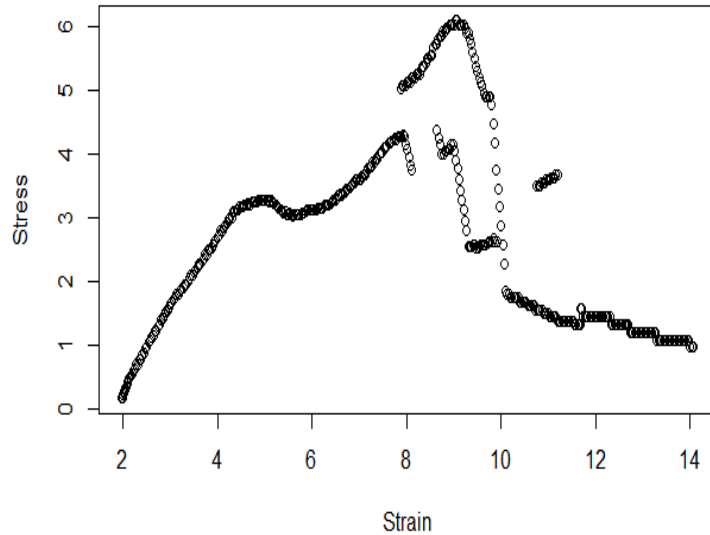
Promedio prueba de tensión Pitillo plástico (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en Mpa)



Como se puede observar en la gráfica, a una deformación de un 4 por ciento en los pitillos plásticos se tiene en promedio un esfuerzo de 0.25 Mpa.

Grafica No 4

Promedio prueba de tensión Pitillo papel (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en Mpa)

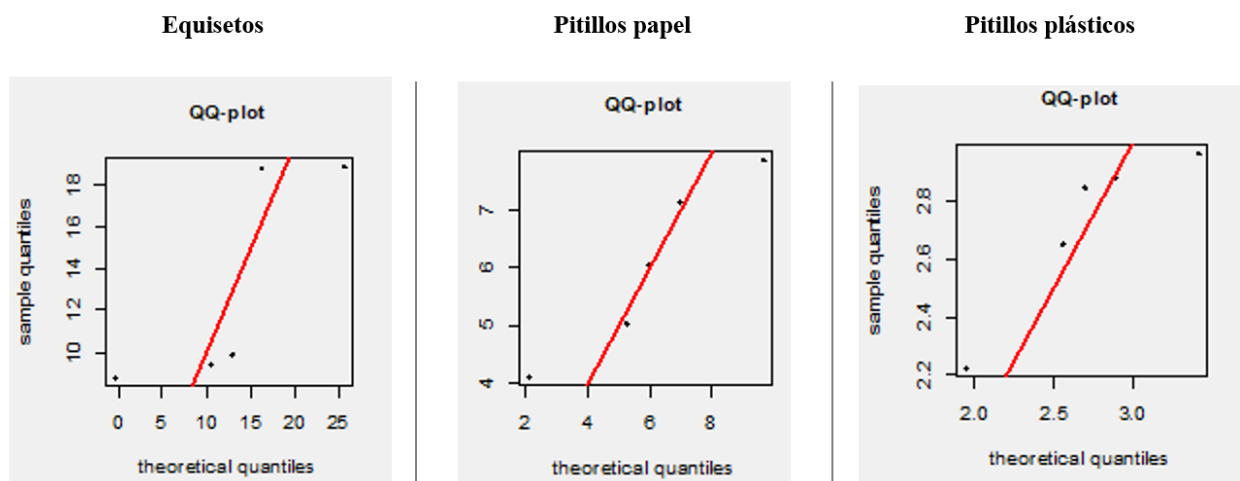


Esta gráfica muestra que para una deformación del 4 por ciento en los pitillos de papel se tiene un esfuerzo promedio de 2.3 Mpa aproximadamente.

Análisis estadístico de las Métricas de resistencias a la tensión

Graficas No 5 (Equisetos), 6 (Papel) y 7 (Plásticos)

Comparación de vectores (resistencia a la tensión) resultantes para la prueba de tensión en los tres tipos de material



En relación con la prueba de tensión, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de resistencia a la tensión presentados en la tabla No 2. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor

se ajustó a los datos según la prueba fit. cont

Coefficientes de variación para cada tipo de material:

Coefficiente de variación pitillo biológico en la prueba de tensión: 35.55413

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de tensión: 22.38675

Coefficiente de variación para el pitillo plástico en la prueba de tensión: 9.75196

Prueba de correlación pitillos de equisetos y pitillos de papel:

Ho: “No hay correlación entre los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la prueba de tensión”

spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.de.papel
S = 18, p-value = 0.95
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.1
```

como rho dio diferente a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo es una correlación baja

Prueba de correlación pitillos de equisetos y pitillos plásticos:

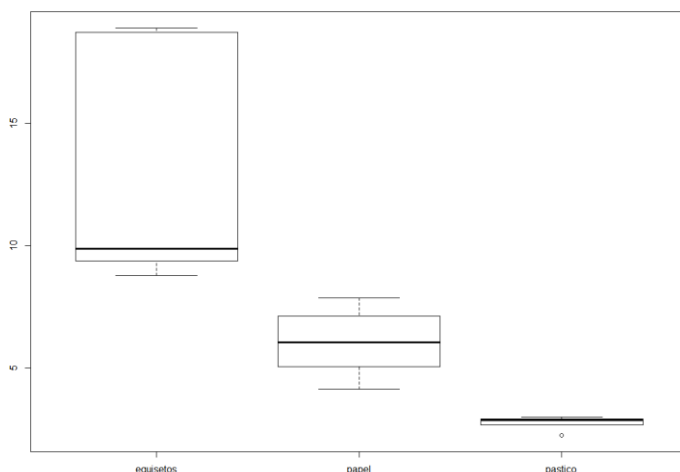
Ho: “No hay correlación entre los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la prueba de tensión”

spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.plasticos
S = 24, p-value = 0.7833
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
-0.2
```

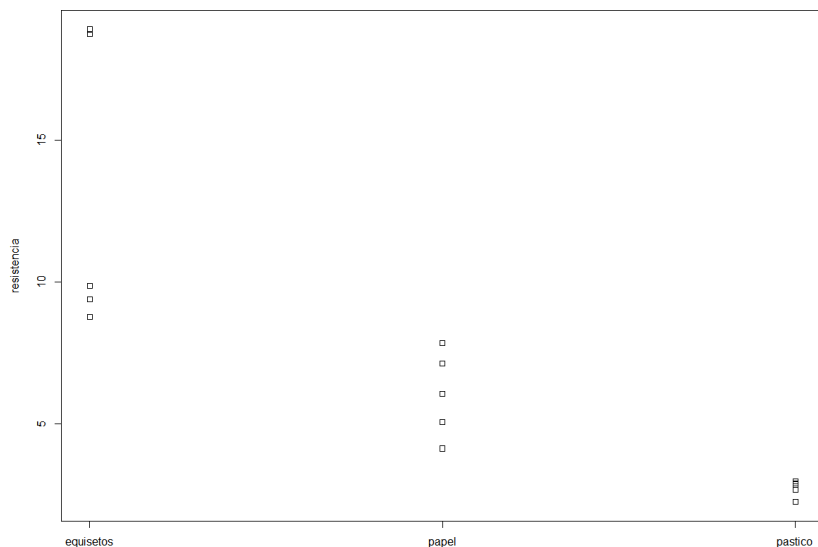
como rho dio diferente de 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de plástico y los tallos de los equisetos, es decir que se acepta la hipótesis alterna, sin embargo se trata de una correlación negativa debido a que Rho dio - 0.2.

Grafica No 8 de cajas y bigotes: variable resistencia a la tensión (Mpa) por cada material evaluado.



En el diagrama de arriba se presenta la resistencia a la tensión en Mpa., de las tres clases de pitillos, donde se observa claramente que la mediana de los Equisetos es la mayor, seguida por los pitillos de papel y por último los de material plástico, los cuales serían los menos resistentes ante los esfuerzos de tensión.

Grafica No 9 puntos de dispersión: variable resistencia a la tensión por cada material.



Se presenta en el diagrama de arriba las dispersiones de los puntos de resistencia a la tensión en Mpa que se obtuvieron en las muestras. Al igual que en el diagrama de cajas y bigotes se observa que hay una gran dispersión en los datos de los Equisetos, y que los datos de los pitillos de plástico son los que están más cercanos entre sí.

Para el análisis estadístico se realizó la prueba no paramétrica de “Kruskal-Wallis”, y se obtuvo el siguiente resultado

$$\text{Kruskal-Wallis chi-squared} = 12.5, \text{ df} = 2, \text{ p-value} = 0.00193$$

Para esta prueba, la hipótesis nula es que la variable respuesta (resistencia a la tensión) es la misma en todas las poblaciones valoradas, esta hipótesis es rechazada por el valor de probabilidad p que es de 0.00193, es decir, la estadística obtenida nos indica que hay diferencias significativas entre las tres clases de pitillos. En la Figura 1, se observaba claramente que los Equisetos son los que tienen mayor resistencia a la tensión. Seguidos por los de papel y por último los de plástico. Como los resultados fueron significativos, la prueba de Nemwyi nos permite realizar comparaciones a pares. Dando los siguientes resultados: **Tabla No 5 Comparación por pares prueba resistencia a la tensión**

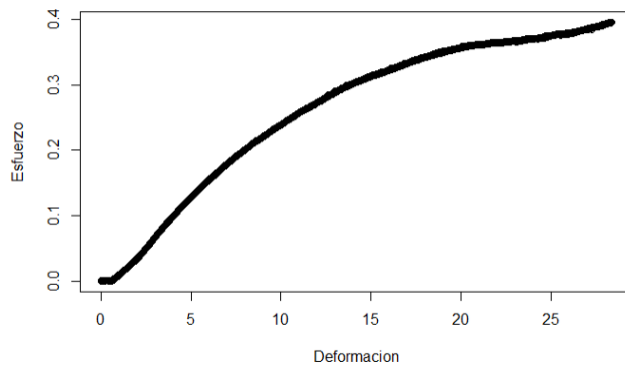
	Equisetos	Papel
Papel	0.1805	-
Plástico	0.0012	0.1805

Al ver los valores obtenidos por las comparaciones por pares, se puede observar que los pitillos de equisetos y los de papel, así como los de plástico y papel son similares al 18,05 por ciento a pares. Mientras que los más diferentes son los plásticos y los equisetos (lo cual explica el porqué de la correlación negativa). Esto también se pudo observar en el diagrama de puntos de dispersión donde los pitillos de papel representan una especie de punto medio entre las tres clases de pitillo.

- **Prueba de compresión:**
- **Gráficas de esfuerzo vs deformación de la prueba de compresión:** Se muestran a continuación las gráficas donde se resumen con los resultados de las 5 réplicas de la prueba por cada tipo de material (equisetos, papel, plástico) el promedio de los esfuerzos de compresión que los tres tipos de materiales soportaron durante los ensayos.

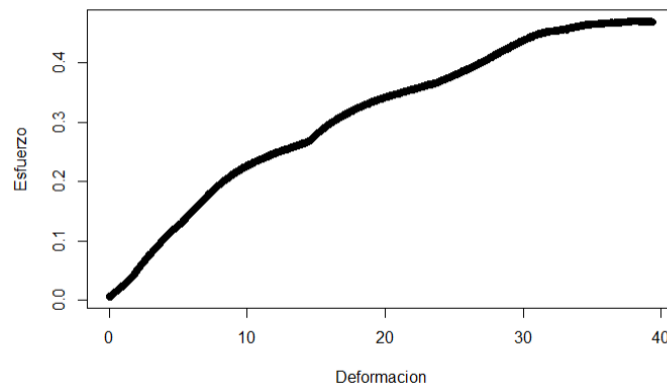
Cabe aclarar que sólo pudieron obtenerse 5 datos de la prueba de compresión horizontal por cuanto la prueba de compresión vertical no arrojó resultados debido a la inestabilidad de las probetas, ya que al disponerlas en esta posición se salían de la máquina universal.

Gráfica No.10 Promedio pitillo plástico (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en N/mm):



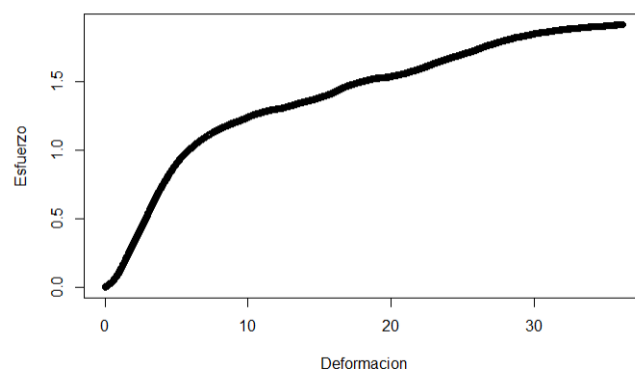
Se observa en la gráfica de compresión que a un esfuerzo de deformación de 0.35 N/mm el material de los pitillos plásticos se deforma en un 20 por ciento

Gráfica No. 11 Promedio Equisetos (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en N/mm):



Se observa fácilmente que a una deformación del 20 por ciento en los tallos de los equisetos durante la prueba de compresión, se tiene un esfuerzo promedio de 0.35 N/mm.

Gráfica No.12 Promedio pitillo papel (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en N/mm):

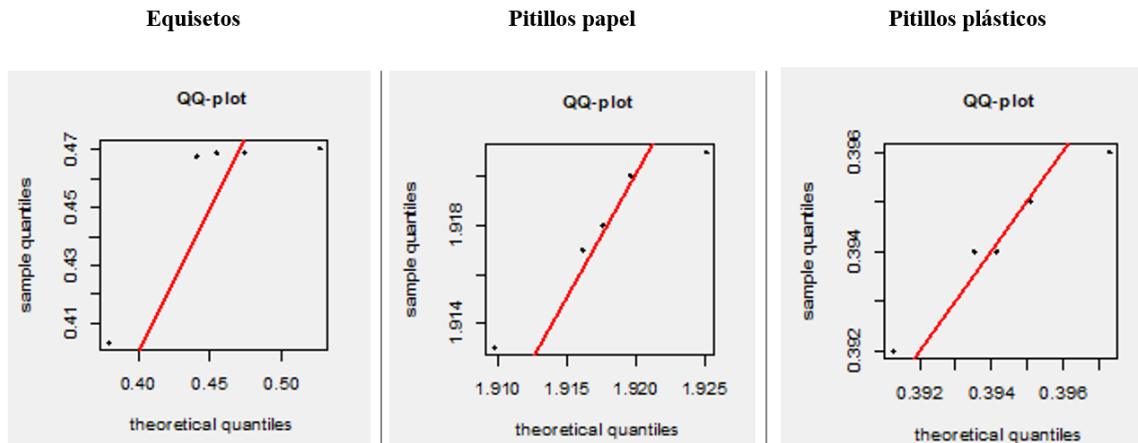


Al observar la gráfica de compresión para el pitillo de papel, se puede apreciar que a una deformación del 20 por ciento se tiene un esfuerzo promedio de 1.5 N/mm.

Graficas 13 (Equisetos), 14 (Papel), 15 (Plástico)

Análisis estadístico métricas de resistencia a la compresión

Comparación de vectores (resistencia a la Compresión) resultantes para la prueba de compresión en los tres tipos de material



En relación con la prueba de compresión, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de resistencia a la compresión presentados en la tabla No 2. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor se ajustó a los datos según la prueba fit. Cont

Coefficientes de variación por cada tipo de material

Coefficiente de variación pitillo plástico en la prueba de compresión: 0.3762659

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de compresión: 0.1452538

Coefficiente de variación en los tallos de equisetos en la prueba de compresión: 5.815333

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos:

H₀: “No hay correlación entre los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la prueba de compresión”

spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos1 and Pitillos.de.papel1
s = 0.50641, p-value = 0.004818
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
0.9746794
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos y por ende se puede llevar a cabo la función deseada debido a que hay una alta correlación.

Prueba de correlación pitillos plásticos y equisetos:

H₀: “No hay correlación entre los equisetos y los pitillos de plástico al aplicarse la prueba de compresión”

spearman's rank correlation rho

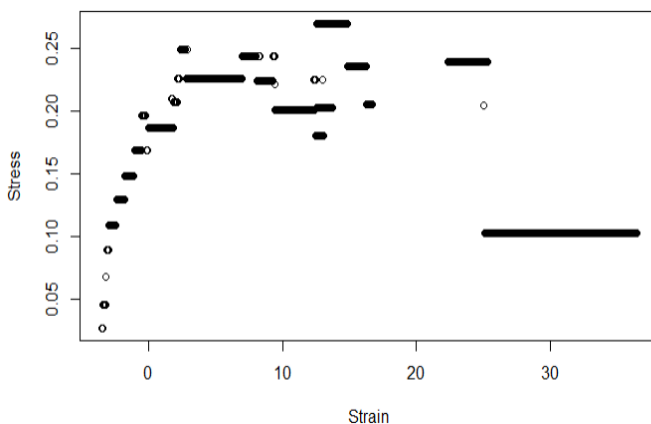
```
data: Equisetos1 and Pitillos.plasticos1
S = 1.5789, p-value = 0.02631
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.9210526
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos y por ende se puede llevar a cabo la función deseada debido a que hay una alta correlación.

Prueba de flexión:

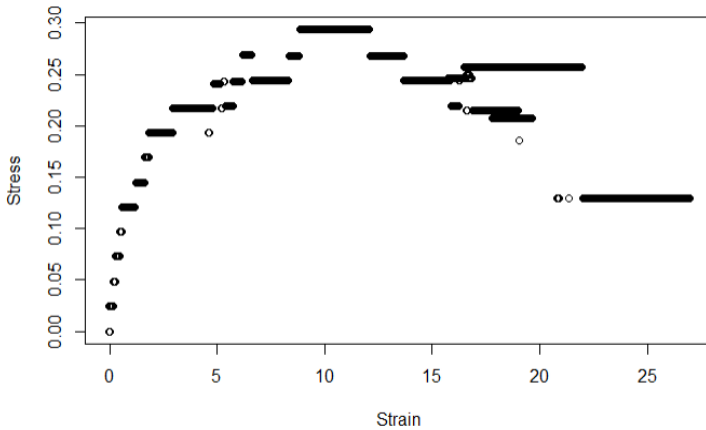
- **Gráficas de esfuerzo vs deformación de la prueba de flexión:** Se muestran a continuación las gráficas donde se resumen con los resultados de las 5 pruebas por cada tipo de material (equisetos, papel, plástico) el promedio de los esfuerzos de flexión que los tres tipos de materiales soportaron durante los ensayos.

Grafica No.16 Promedio Equisetos: (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en Mpa)



Para el pitillo plástico, un esfuerzo de 0.04 Mpa es suficiente para deformarlo en un 5 por ciento. cómo se puede evidenciar en la gráfica.

Grafica No.18 Promedio pitillo papel (Eje x: % de Deformación eje y: Esfuerzo en Mpa)

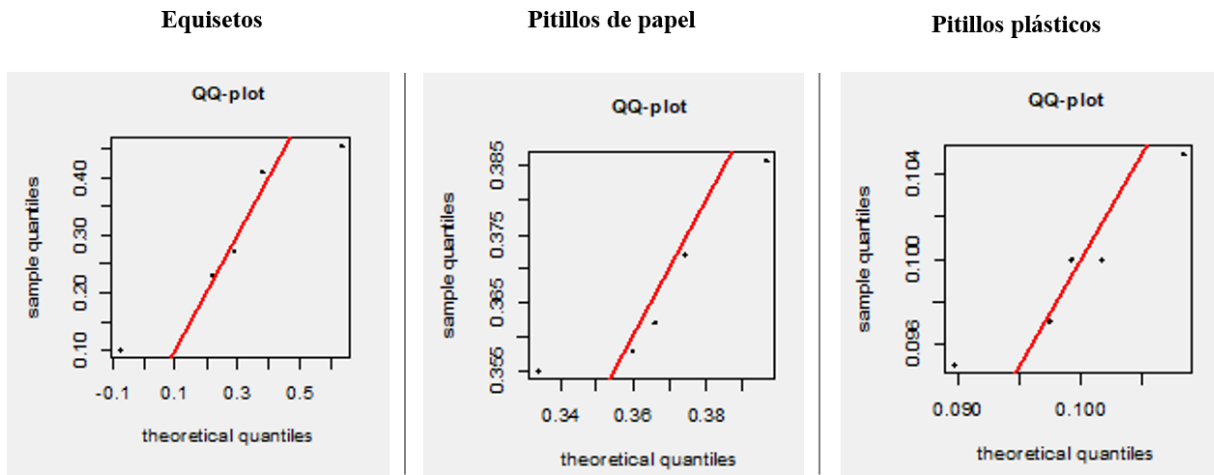


El pitillo de papel cuando es deformado en un 5 por ciento tiene en promedio un esfuerzo de 0.21 Mpa, como puede observarse en el gráfico

Análisis estadístico métricas de resistencia a la flexión.

Graficas 19 (Equisetos), 20 (Papel), 21 (Plástico)

Comparación de vectores (resistencia a la flexión) resultantes para la prueba de flexión en los tres tipos de material



En relación con la prueba de flexión, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de resistencia a la flexión presentados en la tabla No 2. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor se ajustó a los datos según la prueba fit. Cont

Coefficientes de variación por cada tipo de material

Coefficiente de variación de los equisetos en la prueba de flexión: 43.40675

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de flexión: 3.074523

Coefficiente de variación pitillo de plástico en la prueba de flexión: 3.40272

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos:

H₀: "No hay correlación entre las resistencias a la flexión de los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la prueba de flexión"

Spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.de.papel2
s = 10, p-value = 0.45
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.5
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos. Sin embargo no alcanza a ser una correlación alta.

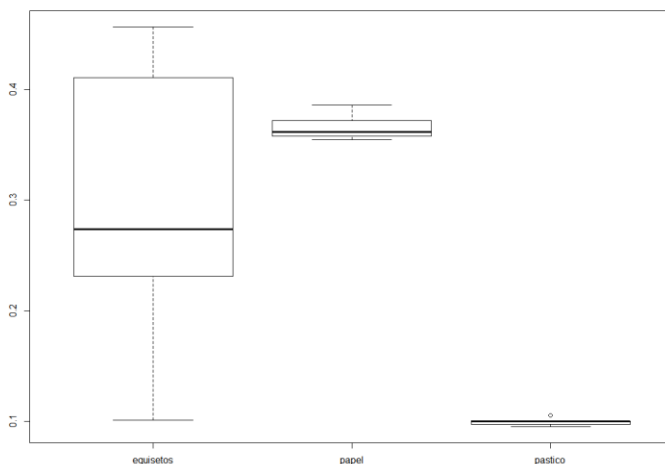
Prueba de correlación pitillos de plásticos y equisetos:

Spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.plasticos2
s = 13.844, p-value = 0.6144
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.3077935
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo es una correlación baja

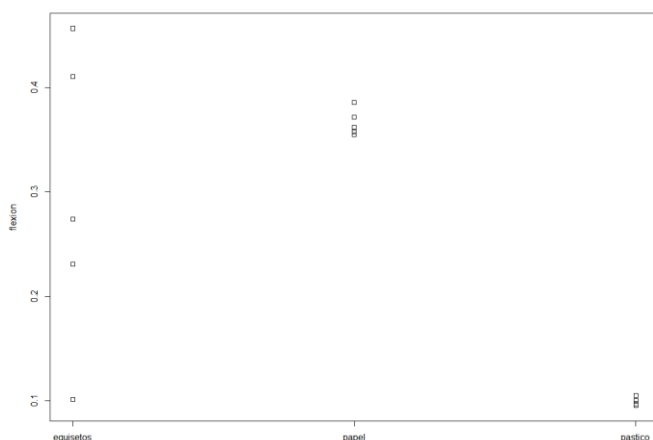
Grafica No 22 de cajas y bigotes: variable resistencia a la flexión por cada material evaluado.



Como se ilustra a través de del diagrama de cajas, hay diferencias en la resistencia a la flexión medida en Mpa para las tres clases de pitillos, ya que se logra apreciar que hay una gran variabilidad en los datos correspondientes a los equisetos, mientras que los valores son más homogéneos para el caso de los de plástico. Sin embargo, los pitillos cuya mediana es superior al resto son los que están elaborados

a base de papel.

Grafica No 23 dispersión de puntos: variable resistencia a la flexión por cada material evaluado.



En el diagrama de dispersión puntos se aprecia de igual forma una gran dispersión en los datos asociados a los pitillos equisetos, seguidos por los de papel y por último los de plástico.

Al ver los resultados de la prueba no paramétrica “Kruskal-Wallis”, se obtuvieron los siguientes resultados;

Kruskal-Wallis chi-squared = 8.8358, df = 2, p-value = 0.01206

Para esta prueba la hipótesis nula es que la variable respuesta (flexión) es la misma en todas las poblaciones valoradas, esta hipótesis es rechazada por el valor de probabilidad p que es de 0.001206. Es decir, la estadística obtenida nos indica que hay diferencias significativas en la flexión entre las tres clases de pitillos. Esto se observaba claramente en los diagramas de dispersión de puntos y de cajas y bigotes correspondientes a la prueba de flexión, donde se aprecia que los pitillos de papel son aquellos que tienen una mayor resistencia a la flexión y los equisetos la mayor variabilidad de resistencias.

Como los resultados fueron significativos, la prueba de Nemwyi nos permite realizar comparaciones a pares. Dando los siguientes resultados: **Tabla No 6 Comparación por pares prueba de flexión**

	Equisetos	Papel
papel	0.906	-
plástico	0.051	0.016

Al ver los valores obtenidos por las comparaciones por pares, se puede observar que los pitillos equisetos y los de papel son muy similares, es decir, que sus medias están muy cercanas. A pesar de la gran variabilidad en los datos para el caso de los equisetos, teniendo un porcentaje de similitud de más del 90%. (esto se puede explicar gracias a que ambos tipos de materiales son compuestos por polímeros celulósicos) Por otro lado, los otros pitillos a pares no son similares con respecto a la flexión.

Resultados de las pruebas de migración global:

En la siguiente tabla se presentan los pesos de los residuos no volátiles de los equisetos transmitidos al simulante de comida (etanol al 10%) después de someterlos a 40°C durante 10 días.

Tabla No 7. Resultados prueba de migración global

	Peso sustancias no volátiles por prueba con 3 pitillos de equisetos (100 cm²)	Peso sustancias no volátiles en 120 ml de etanol (blanco/control)	Cálculos de la migración global en Miligramos por decímetro (Resta de la columna 1 con la columna 2)
	41.3793 g	41. 3779 g	1.4mg/dm ²
	41.3794 g	41. 3779 g	1.5mg/dm ²
	41.3790 g	41. 3779 g	1.1mg/dm ²
	41.3788 g	41. 3779 g	0.9mg/dm ²
	41.3780 g	41. 3779 g	0.1mg/dm ²
	41.3796 g	41. 3779 g	1.7mg/dm ²
	41.3812 g	41. 3779 g	3.3mg/dm ²
	41.3804 g	41. 3779 g	2.5mg/dm ²
	41.3789 g	41. 3779 g	1mg/dm ²
	41.3793 g	41. 3779 g	1.4mg/dm ²
\bar{x}	41.379	41.3779	1.49
σ	0.0008	0	0.883

Pesos de los residuos no volátiles de los equisetos transmitidos al simulante de comida (etanol al 10%) después de someterlos a 40°C durante 10 días

Como se puede apreciar, la tabla muestra en la primera columna los pesos no netos en gramos de los residuos no volátiles que quedaron en el simulante de comida (etanol 10 por ciento) después de ser sometidos por 10 días en el horno a 40° C, en la segunda columna se encuentra el peso no neto en gramos, de los residuos no volátiles que quedaron en el control (120 ml de etanol al 10 por ciento) después de 10 días a 40°C y la última columna muestra la diferencia entre ambos pesos. En dicha columna se puede ver que el máximo peso fue de 3.3 mg/dm², y el mínimo fue de 0.1 mg/dm²

Prueba de succión:

Tabla No 8. Resultados de la prueba de succión jugo de piña, granizado y smoothie frutos amarillos (mango-piña-uchuva).

- A) Número de ml de jugo de piña succionados con los tres materiales de pitillo.
- B) Número de ml de granizado de café succionados con los tres materiales de pitillo.
- C) Número de ml de smoothie succionados con tres materiales de pitillo.

	A) Equisetos			B) Pitillos papel			C) Pitillos plásticos		
	Jugo de piña (ml)	Granizado de cafe (ml)	Jugo tipo smoothie (ml)	Jugo de piña (ml)	Granizado de cafe (ml)	Jugo tipo smoothie (ml)	Jugo de piña (ml)	Granizado de cafe (ml)	Jugo tipo smoothie (ml)
	5	3.7	3.2	3.65	3.9	3.3	3.17	3.0	3.5
	5.2	3.4	3.1	4	3.7	4.2	3.6	2.5	3.2
	5	3.6	3.5	4	3.5	4.3	3.1	2.5	3.3

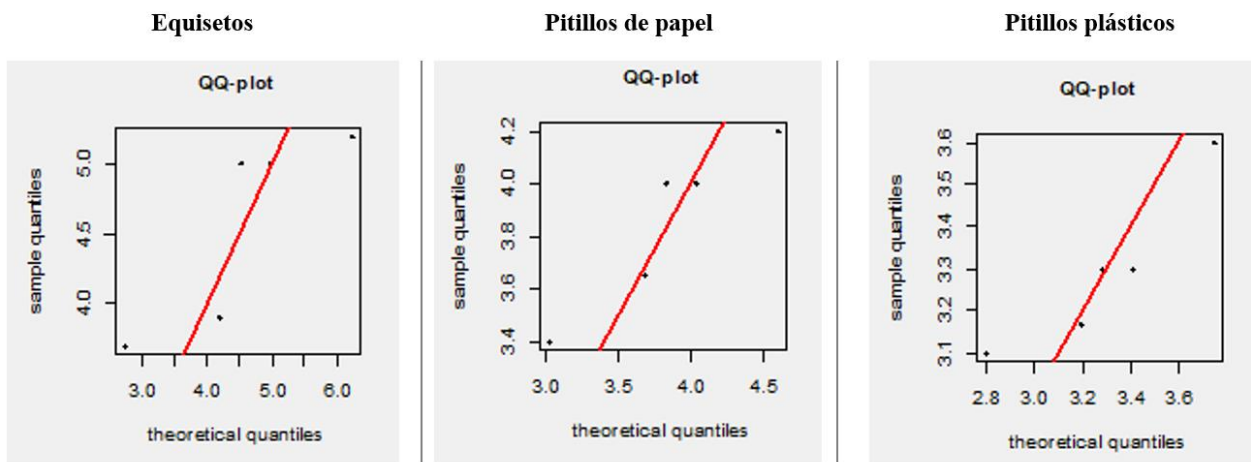
	3.9	4.0	3.3	3.4	3.8	3.6	3.3	3.4	3.6
	3.7	3.2	3.1	4.2	3.3	4.2	3.3	3.7	3.1
\bar{x}	4.56	3.58	3.24	3.85	3.64	3.92	3.294	3.02	3.34
σ	0.702	0.303	0.167	0.320	0.240	0.443	0.191	0.535	0.207

En la tabla No 4 se puede apreciar la variabilidad de volúmenes que pueden ser transportados en los pitillos de los tres materiales evaluados, se puede evidenciar fácilmente que para el caso del jugo de piña, los tallos de los equisetos de 20 cm de largo por 5 mm de diámetro tienen una capacidad máxima de 5.2 ml, mientras que los otros pitillos de otros tipos de materiales tienen una capacidad menor, sin embargo en las bebidas con densidades más altas (granizado de café, smoothie) los promedios de la capacidad de transporte, registraron volúmenes similares.

Análisis estadístico pruebas de succión

Graficas 24, 25, 26

Comparación de los vectores resultantes de la prueba de succión utilizando bebidas de diferentes viscosidades (jugo de piña):



En relación con la prueba de succión utilizando el jugo de piña, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de la prueba de succión presentados en la tabla No 4. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor se ajustó a los datos según la prueba fit. cont

Coefficientes de variación por cada tipo de material

Coefficiente de variación de los equisetos en la prueba de succión: 13.77221

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de succión: 5.200392

Coefficiente de variación pitillo de plástico en la prueba de succión: 7.437829

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos

H₀: "No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la succión con el jugo de piña"

```
Spearman's rank correlation rho

data: Equisetos and Pitillos.de.papel3
S = 13.844, p-value = 0.6144
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.3077935
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo la correlación es baja.

Prueba de correlación pitillos plásticos y equisetos

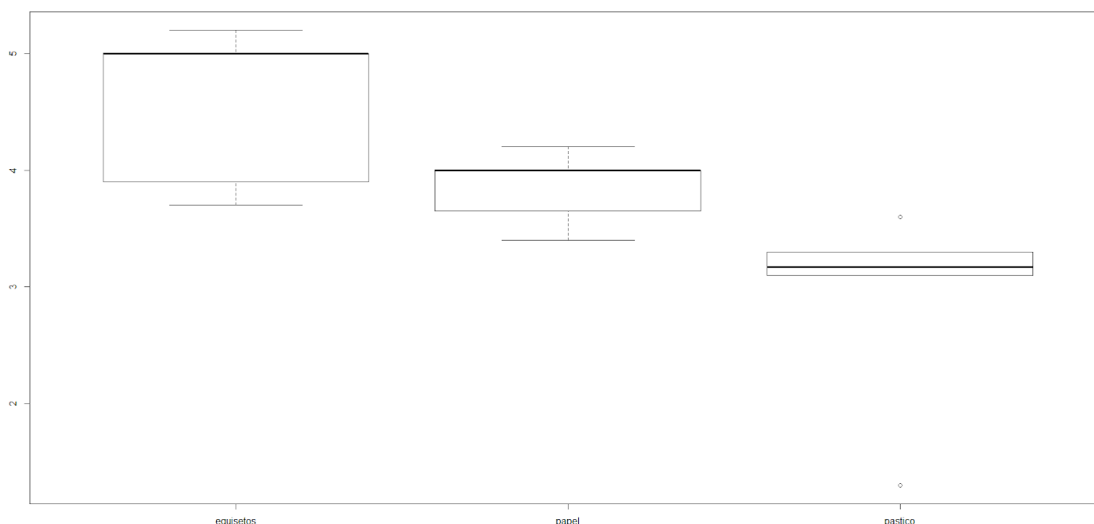
H₀: "No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de plásticos al aplicarse la succión con el jugo de piña"

```
Spearman's rank correlation rho

data: Equisetos and Pitillos.plasticos3
S = 13.844, p-value = 0.6144
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.3077935
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo la correlación es baja.

Grafica No 27 de cajas y bigotes: variable de mililitros succionados por cada material evaluado (jugo de piña).



En el diagrama de cajas y bigotes de arriba se presenta la capacidad de succión de jugo de piña de las tres clases de pitillos, medias en mililitros. En la gráfica, se observa claramente que la mediana de los equisetos es la mayor, seguida por los pitillos de papel y por último los de material plástico. También, se puede observar que la capacidad de succión para el caso de los pitillos equisetos es la que tiene mayor variación, mientras que para el caso de plástico es tiene menor variación.

La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis generó el siguiente resultado:

Kruskal-Wallis chi-squared = 9.6545, df = 2, p-value = 0.008009

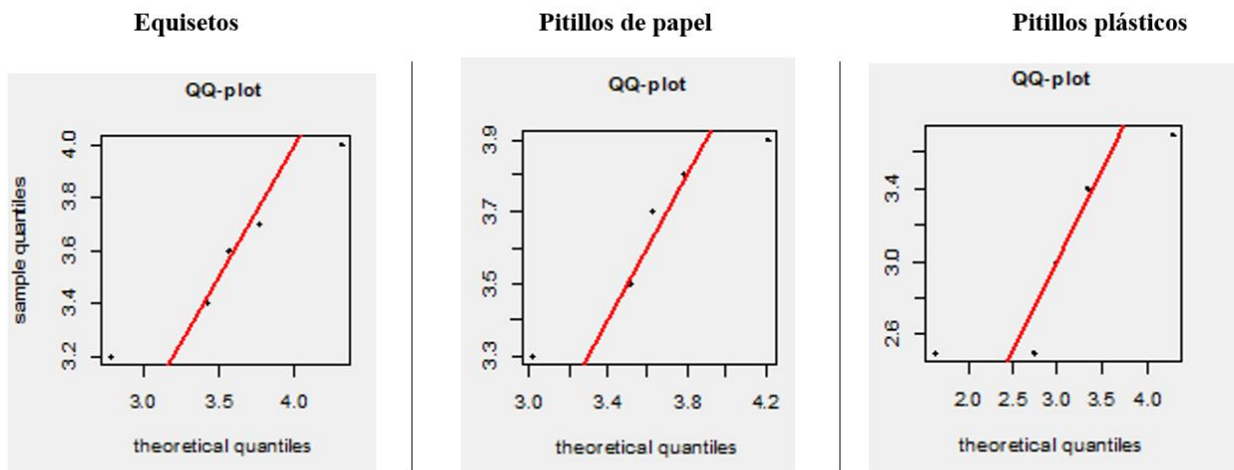
Para esta prueba la hipótesis nula es que la variable respuesta (succión en mililitros) es la misma en todas las poblaciones valoradas, esta hipótesis es rechazada por el valor de probabilidad p que es de 0.008009. Es decir, la estadística obtenida nos indica que hay diferencias significativas en la capacidad de succión entre las tres clases de pitillos. En el diagrama de caja de arriba, se observaba claramente los equisetos son los que tienen mayor capacidad de succión de jugo de piña. Como los resultados fueron significativos, la prueba de Nemwyi nos permite realizar comparaciones por pares.

equisetos	papel	plástico	
	0.5832	0.0067	0.1004

Si se observan los valores obtenidos en las comparaciones por pares, se tiene que los pitillos equisetos y los de papel son los que presentan una similitud mayor, la cual es del 58,32%. Los otros niveles de comparaciones por pares son inferiores al 10% y no generan mucho interés.

Graficas 28 (Equisetos), 29 (Papel), 30 (Plástico)

Comparación de los vectores resultantes de la prueba de succión utilizando bebidas de diferentes viscosidades (Granizado de café):



En relación con la prueba de succión utilizando el granizado, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de la prueba de succión presentados en la tabla No 4. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor se ajustó a los datos según la prueba fit. cont

Coefficientes de variación por cada tipo de material

Coefficiente de variación de los equisetos en la prueba de succión: 7.578022

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de succión: 5.917764

Coefficiente de variación pitillo de plástico en la prueba de succión: 15.86642

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos

H₀: No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la succión con el granizado de café"

spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.de.papel4
S = 10, p-value = 0.45
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.5
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo no alcanza a ser una alta correlación.

Prueba de correlación pitillos de plástico y equisetos

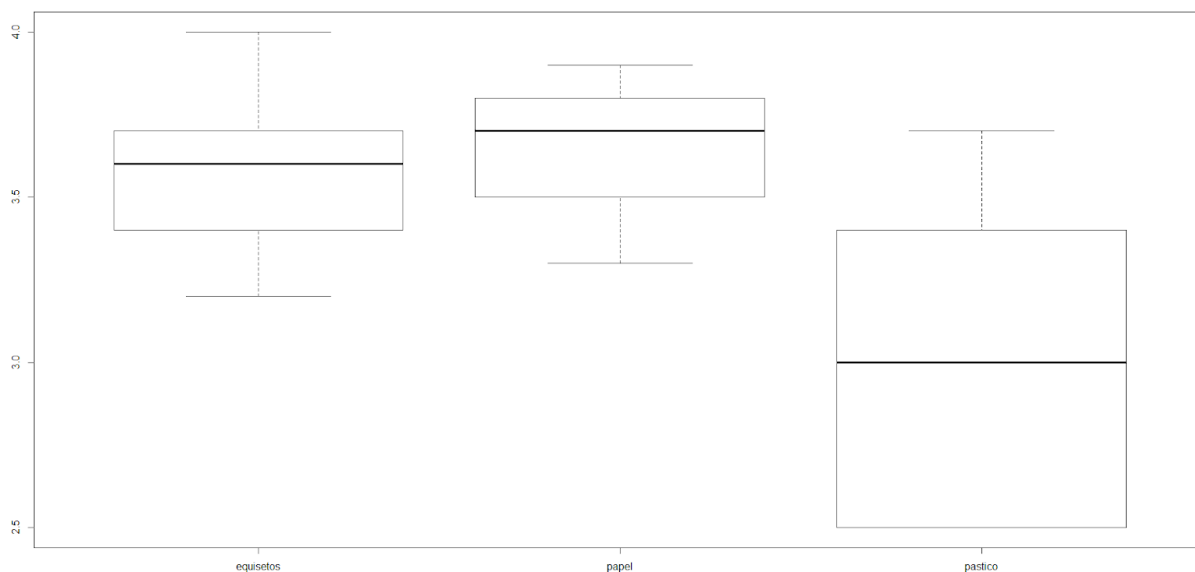
H₀: "No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de plástico al aplicarse la succión con el granizado de café"

spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.plasticos4
S = 8.7142, p-value = 0.3217
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.5642881
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo no alcanza a ser una correlación alta.

Grafica No 31. cajas y bigotes: variable de mililitros succionados por cada material evaluado (Granizado).



En el diagrama de cajas y bigotes de arriba se presenta la capacidad de succión para la solución granizado para las tres clases de pitillos, las mencionadas mediciones se exhiben en mililitros. En la

gráfica, se observa que para esta solución la mediana de los pitillos de papel y los equisetos es bastante similar, aunque ligeramente hay más dispersión específicamente para el caso de los equisetos. Por otro lado, los pitillos de plástico son los que tienen más dispersión y menor capacidad de succión para la solución de granizado.

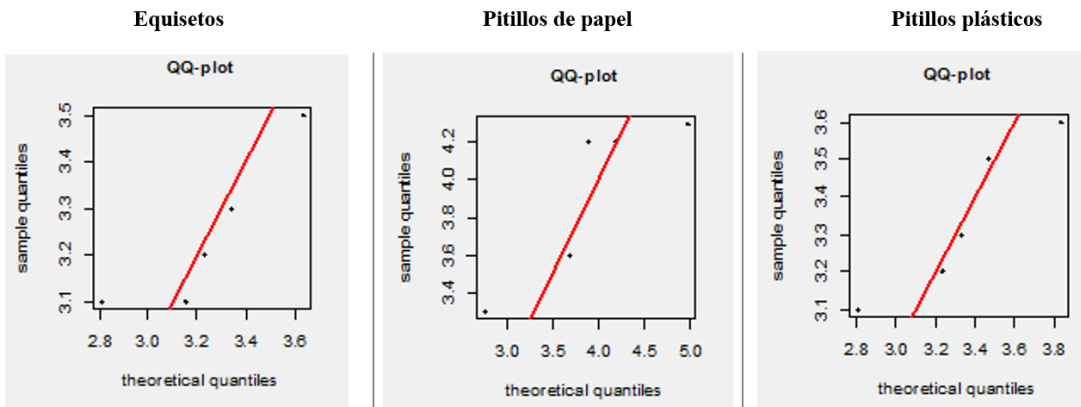
La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis generó el siguiente resultado:

Kruskal-Wallis chi-squared = 4.2809, df = 2, p-value = 0.1176

La prueba de Kruskal-Wallis cuya hipótesis nula es que la variable respuesta (succión en mililitros) es la misma en todas las poblaciones valoradas. En este caso la hipótesis nula no es rechazada al considerar un nivel de significancia del 5% ya que el valor de probabilidad p es 0.1176. Es decir, la estadística obtenida nos indica que no hay diferencias significativas de succión entre las tres clases de pitillos y estadísticamente se sugeriría que tienen la misma capacidad de succión. Debido a los resultados obtenidos no es necesario utilizar la prueba de comparaciones a pares.

Graficas No 32 (Equisetos), 33 (Papel), 34 (Plástico).

Comparación de los vectores resultantes de la prueba de succión utilizando bebidas de diferentes viscosidades (smoothie):



En relación con la prueba de succión utilizando el smoothie, se escogieron las mejores distribuciones que se ajustaban a los datos resultantes de la prueba de succión presentados en la tabla No 4. Como se puede observar en las gráficas de arriba, la distribución normal (theoretical quantiles) es la que mejor se ajustó a los datos según la prueba fit. cont

Coefficientes de variación por cada tipo de material

Coefficiente de variación de los equisetos en la prueba de succión: 4.61933

Coefficiente de variación pitillo de papel en la prueba de succión: 10.12726

Coefficiente de variación pitillo de plástico en la prueba de succión: 5.553066

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos

H₀: No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la succión con el granizado de café"

Spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.de.papel5
S = 13.844, p-value = 0.6144
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.3077935
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo es una correlación baja.

Prueba de correlación pitillos de papel y equisetos

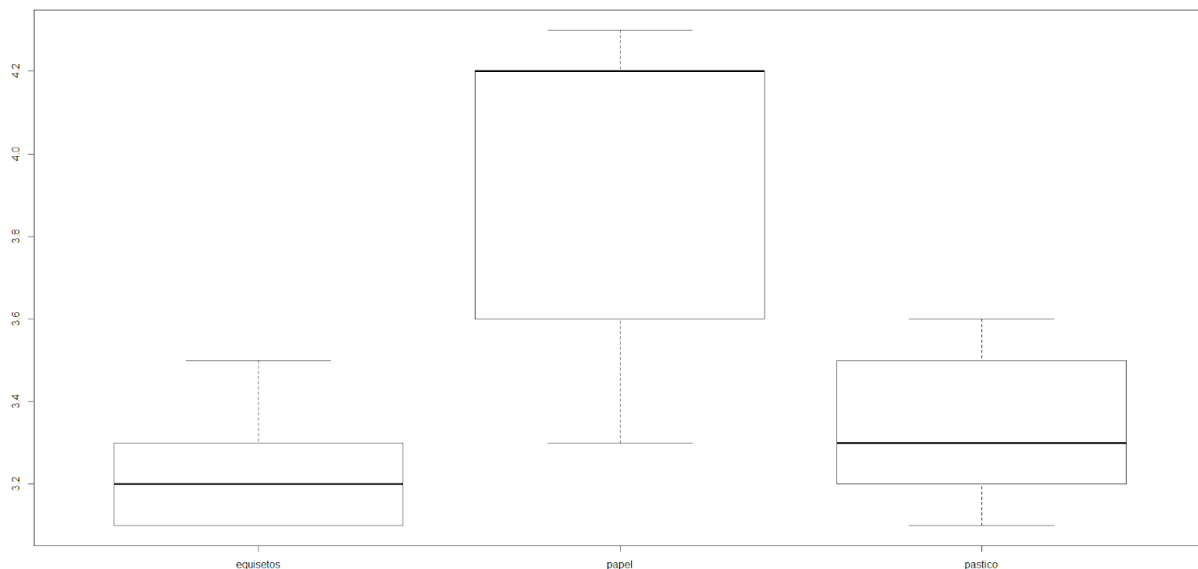
H₀: No hay correlación entre las capacidades de succión de los equisetos y los pitillos de papel al aplicarse la succión con el granizado de café"

Spearman's rank correlation rho

```
data: Equisetos and Pitillos.plasticos5
S = 10, p-value = 0.45
alternative hypothesis: true rho is not equal to
0
sample estimates:
rho
0.5
```

como rho dio mayor a 0, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto hay correlación entre los pitillos de papel y los tallos de los equisetos, sin embargo no alcanza a ser una correlación alta.

Grafica No 35 de cajas y bigotes: variable de mililitros succionados por cada material evaluado (Smoothie).



En el diagrama de cajas y bigotes de arriba se presenta la capacidad de succión para la solución de jugo de mango, piña y uchuva (smoothie) de las tres clases de pitillos, las mencionadas mediciones se exhiben en mililitros. En la gráfica, se observa para esta solución la mediana de los pitillos de papel es la mayor, seguida por los de plástico y por último los equisetos. Aun así, también se tiene

que la capacidad de succión de la solución tiene mayor dispersión para el caso de los pitillos de papel.

Para el caso del análisis estadístico la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis generó el siguiente resultado:

Kruskal-Wallis chi-squared = 6.9029, df = 2, p-value = 0.0317

En la prueba de Kruskal-Wallis la hipótesis nula es la variable respuesta (succión en ml del jugo de piña, mango y uchuva), es la misma en todas las poblaciones valoradas. En este caso la hipótesis nula es rechazada al considerar un nivel de significancia del 5% ya que el valor de probabilidad p es 0.00317. Es decir, la estadística obtenida nos indica que hay diferencias significativas en la capacidad de succión en ml entre las tres clases de pitillos. El diagrama de cajas y bigotes de arriba, ayuda a identificar que los pitillos de papel son lo que tienen mayor capacidad de succión cuando se emplea la solución de jugo de mango, piña y uchuva. Como los resultados fueron significativos, la prueba de Nemwyi nos permite realizar comparaciones a pares.

Pairwise comparisons using Tukey and Kramer (Nemenyi) test

	equisetos	papel	
papel	0.032	-	
plastico	0.780	0.157	

Observando los valores obtenidos por las comparaciones por pares. Se puede observar que los pitillos equisetos y los de plástico tienen una similitud muy alta, específicamente del 78%. Esto era de esperar partiendo de los resultados presentados en el diagrama de cajas y bigotes de arriba donde se observa que el pitillo de papel es el que tiene mayor capacidad de succión para la solución. Mientras que el rendimiento para los de plástico y los equisetos fue mucho menor pero similar entre ambos.

B) RESULTADOS DE PRUEBAS DE USABILIDAD Y ENCUESTAS (Anexo 5)

1. Desempeño del pitillo biológico al usar la probeta en 5 pasos (a. desempacar, b. introducir en la bebida, c. manipular para llevarlo a la boca, d. succionar con los labios, e. mezclar)

En relación con las pruebas de usabilidad se encontró que las 6 personas que participaron aceptaron a los tallos de los equisetos como una alternativa viable a los pitillos plásticos porque independientemente de la edad del participante (40 – 60), e independientemente del tiempo en que habían usado pitillos por última vez (1mes, 6 meses- 1 año, más de 1 año) todos los participantes refieren que la sensación de rigidez es buena al desempacar, sumergir el pitillo en la bebida, manipularlo para llevarlo a la boca y usarlo para mezclar.

Como soporte a continuación se relacionan las respuestas textuales de los 6 usuarios, donde se puede evidenciar que los comentarios con respecto a los pitillos biológicos son positivos:

Helena Alfonso: “se siente hasta mejor, igual a esos” (señalaba con el dedo a un pitillo plástico)

Flor Esperanza: “En cuanto a lo llamativo, si porque es diferente”

Helena Alfonso: “No le cambio el sabor” refiriéndose a que el pitillo no le cambio el sabor a la bebida

Helena Alfonso: “Ahí está bien el ancho”

Helena Alfonso: “Me parece chévere, excelente”

John Jairo Feria: “Me Parece Bueno”

John Jairo Feria: “Buena, consistente ahí para revolver”

John Jairo Feria: “Muchas veces el pitillo plástico lo que hace es que mientras uno lo está revolviendo

se dobla” comparándolo con el pitillo de equiseto

John Jairo Feria: “No le cambio el sabor”

John Jairo Feria: “Esta muy interesante la propuesta de pitillo”

Luz Marina Motta: “Si sacaran un pitillo así como dice, que va a ser de una planta me parece bien”

María Eugenia Pacalaqua: “Buena porque por ejemplo, si yo voy lo voy a hacer con el otro pitillo plástico uno hace así y a veces como que se le dobla, en cambio a este uno lo hace como fácil, ósea como con más seguridad”

María Eugenia Pacalaqua: “fue muy llamativo”

De manera similar, la mayoría de las participantes manifestaron que al poner los labios sobre el pitillo, este no se deshizo en la boca, y por lo tanto el 83% de los participantes lo calificaron como un pitillo con una consistencia adecuada para ponerlo en la boca (Buena) y el 16% como regular, y no manifestaron que no fuera adecuada la consistencia del pitillo.

Como soporte estos son los comentarios de los usuarios al respecto:

Flor Esperanza: “No se deshace en la boca”

Luz Marina Motta: “No se deshace, es bueno”

2.Cantidad de fluido en términos de tiempo:

Tabla No 9. Resultados de tiempos de succión por cada participante:

Participante	Tipo de pitillo	Tiempo en segundos (sec/milésimas)	Control (s)
Luz Marina Motta	biológico	14:20	24
MaríaEugenia Pacalaqua	biológico	21:29	24
Flor esperanza	biológico	20:88	24
Helena Alfonso	biológico	26.15	24
John Jairo Feria	biológico	20:23	24
Alejandro Valderrama	biológico	12:00	24

La tabla muestra los tiempos que se demoraron los usuarios en beber 100 ml de los líquidos utilizados durante la prueba. Siendo la participante Helena Alfonso la que más tiempo le tomo realizar la tarea y Alejandro Valderrama quien menos tiempo se demoró.

3. Encuesta de satisfacción:

Tabla No 10. Resultados de las encuestas de satisfacción

Participante	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 7
Helena Alfonso	10	10	10	-----
Flor Esperanza	10	10	10	-----
John Jairo Feria	8	7	10	-----
Alejandro Valderrama	10	9	9	“Respecto a la consistencia considero que es más consistente que el pitillo tradicional, lo califico mejor que los tradicionales”

Luz Marina Motta	10	10	10	“Me pareció muy excelente, no había tenido una experiencia tan buena”
María Eugenia Pacalaqua	10	10	10	“Sí tengo que en lo personal me parece excelente, lo recomiendo totalmente a otros”

Como se puede apreciar en la tabla No 6, en relación con las respuestas de la encuesta de satisfacción de los usuarios que usaron el pitillo biológico se encontró que todos los participantes escogieron respuestas con calificativos altos (Anexo No 9.), por ejemplo para la pregunta 1 (pudo succionar la totalidad del líquido que esperaba?), 5 de los 6 participantes eligieron la máxima opción que tenía una escala del 1 al 10. En cuanto a las respuestas de la pregunta abierta (pregunta 7), solo 3 de los 6 participantes dio sus sugerencias positivas, los demás se abstuvieron.

Tabla No 11. Resultados de la encuesta de satisfacción

Participante	Pregunta 4	Pregunta 5	Pregunta 6	Pregunta 8	Pregunta 9
Helena Alfonso	TDA (5)	TDA (5)	DA (4)	TED (5)	DA (4)
Flor Esperanza	TDA (5)	TDA (5)	TDA (5)	TED (5)	TDA (5)
John Jairo Feria	TDA (5)	TDA (5)	DA (4)	ED (4)	N (3)
Alejandro Valderrama	TDA (5)	TDA (5)	TDA (5)	TED (5)	TDA (5)
Luz Marina Motta	TDA (5)	TDA (5)	TDA (5)	TED (5)	TDA (5)
María Eugenia Pacalaqua	TDA (5)	TDA (5)	TDA (5)	TED (5)	TDA (5)

TDA: Totalmente de acuerdo, DA: de acuerdo, N: neutro, ED: en desacuerdo, TED: totalmente en desacuerdo

Al observar la tabla No 7. se ve claramente que los 6 participantes de la encuesta estuvieron (en la mayoría de las preguntas) totalmente de acuerdo con las afirmaciones que se establecían. Tal como se evidencia en las respuestas tanto en la pregunta 5 (El modelo de pitillo biológico me gusto más que los otros que he usado en el pasado) como en la pregunta 6 (yo recomendaría a otros el modelo de pitillo biológico).

Medidas de tendencia central y medidas de dispersión de los datos de las pruebas de usabilidad y encuestas realizadas con los usuarios.

Tabla No 12. Medidas de tendencia central de las respuestas a las preguntas de las encuestas

	Pregunta 6:	Pregunta 8:	Pregunta 9:
Min	4	4	3
Primer cuartil	4.2	5	4.25
Mediana	5	5	5
Media	4.6	5	4.667
Tercer cuartil	5	5	5
Max	5	5	5
Varianza	0.2666666	0.1666667	0.7
Desviación estándar	0.5163978	0.4082483	0.83666

Como se puede apreciar en la tabla No. 8, ninguna de las respuestas a la encuesta de satisfacción fue menor de 3, es decir, que los encuestados nunca estuvieron en desacuerdo con las afirmaciones que se plantearon. Por otra parte, no se incluyeron las preguntas 4 y 5, ya que todos los encuestados respondieron la misma opción (Totalmente de acuerdo).

C) RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

A partir de la revisión bibliográfica de las huellas ecológicas generadas durante el ciclo de vida de los productos evaluados (pitillos biológicos de equisetos, pitillos de papel, pitillos plásticos), se presenta a continuación el análisis de los recursos gastados durante el proceso de manufactura, distribución, uso y disposición de cada uno de ellos.

Identificación del ciclo de vida de los pitillos plásticos.



Fig 17. Fuente: elaboración propia

Las fuentes bibliográficas consultadas mostraron que la industria del plástico tiene una huella de carbono diferente dependiendo del tipo de plástico a manufacturar, por ejemplo, según Berners (2012), si se trata de plástico tipo PET, se genera 1.7 kg de CO_2 e por cada kg manufacturado. Para el caso de los pitillos plásticos se usan tanto el polipropileno (4.4 kg de CO_2 e por cada kilo) y el polietileno (3.5 kg de CO_2 por cada kilo) según Berners (2012), por lo cual se consideran productos de alta emisión de gases efecto invernadero.

Por otra parte en la actualidad la extracción de petróleo es cada vez es más difícil (materia prima del plástico), ya que las fuentes convencionales de petróleo se están agotando y por lo tanto se han buscado nuevas tecnologías con técnicas de extracción que requieren más recursos y más energía para producir petróleo de fuentes no convencionales (Elvin, 2015). Se calcula que las emisiones de dióxido de carbono se duplican si el petróleo es obtenido de fuentes no convencionales y en cuanto al agua se tienen cifras de que en la actualidad se requieren entre 2.5 y 4 barriles de agua para producir un barril de bitumen (Elvin, 2015).

De igual modo, se estima que la industria del plástico requiere de más de 1.3 billones de barriles al año para producir los 300 millones de toneladas que se usan en la actualidad (Elvin, 2015). Teniendo en cuenta estas cifras, es importante describir los impactos ambientales generados a partir de las distintas fases del ciclo de vida de los pitillos plásticos.

1) Manufactura

- a. Extracción: durante la extracción de petróleo hay que tener en cuenta los impactos directos e indirectos, primero se requiere hacer la exploración petrolera con maquinaria hidráulica que por lo general penetra la corteza terrestre y, por lo tanto, si la exploración es en el mar, desplaza sedimentos donde **animales marinos bentónicos se ven afectados**, más aún cuando hay corales de profundidad, aumentándose su mortalidad. Una vez se instalan las tuberías por donde viaja el crudo a la superficie, en promedio existe un **gasto de combustibles de 1 barril de petróleo para producir 3 barriles de más petróleo**, lo cual genera emisiones de **gases efecto invernadero** (Elvin, 2015). También se debe tener en cuenta los impactos indirectos, ya que anualmente se estima que se derraman aproximadamente 250000 galones de petróleo en el ambiente y que las refinerías de crudo emiten mas de 500000 toneladas de materiales particulados al aire todos los años (Elvin, 2015).
- b. En segundo lugar, se requiere transportar el petróleo a las fábricas de plástico de polietileno y polipropileno, con lo cual la **huella de carbono aumenta** (Cullen, 2012).
- c. Una vez en la fábrica enormes hornos son activados para generar el vapor necesario, con el cual se destila el petróleo para la obtención de monómeros de etileno. Durante este proceso el **gasto de agua y energía es considerable** (Berners, 2011), donde también se generan productos de desecho como bencenos, toluenos, xilenos, óxido nitroso, dióxido de sulfuro, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (NEI, 2015). Y además, según la EPA (en Elvin, 2015), cada fábrica de plásticos en el mundo tiene el potencial de emitir 85 toneladas de gases tóxicos al año.
- d. En cuarto lugar se produce una polimerización de los monómeros en polímeros que forman resinas las cuales se cortan en forma de pellets cilíndricos de pequeño tamaño que a su vez son mezcladas con aditivos como los plastificantes, estabilizantes y suavizantes que le confieren las propiedades mecánicas deseadas al plástico, sin embargo estos aditivos también introducen toxinas como el bisfenol A, el óxido de etileno, y muchos metales pesados en pequeñas cantidades (Law, 2000).
- e. El quinto paso, consiste en transportar el commodity de los pellets a las industrias donde se necesitan, en este caso los pitillos, habiendo en este proceso aún más **emisiones de Co₂** (Elvin, 2015).
- f. El sexto paso consiste en la extrusión de los pitillos, **donde el gasto de agua y energía** son los requeridos por esta maquinaria para funcionar (Cullen, 2015).
- g. Posteriormente el embalaje o empaque de los pitillos también tiene un impacto de carbono diferencial, dependiendo si es en **bolsas plásticas** (3g de Co₂ e por bolsa), de **papel** (12g – 80g de Co₂ por bolsa) o cajas de cartón (Berners, 2011).

2) Distribución

- a. Consiste en el transporte del producto a las empresas que los requieren para su logística, o a proveedores de venta al por mayor como cinemas, bares, cafés, o

franquicias. Dicho transporte puede ser local, regional, nacional, o internacional aumentando la huella de carbono del producto a diferentes escalas. (Berners, 2011).

3) Uso

- a. El tiempo de uso de los pitillos es muy corto, durante esta fase el producto que requirió de múltiples procesos para llegar a ser producido sólo es usado por poco tiempo para succionar la bebida del usuario; después de cumplir con este propósito es desechado en la basura. Por lo tanto, durante esta fase no hay impactos negativos al ambiente más allá de los residuos que se generan.

4) Disposición

- a. Este residuo de plástico termina entrando a los rellenos sanitarios en su mayoría; no pueden ser reciclados debido a la contaminación con la que vienen impregnados después de haber sido usados a menos de que sean limpiados antes de ser desechados lo cual no es costo eficiente. En los rellenos el plástico se fragmenta y libera aditivos que le fueron agregados en producción, dichos aditivos son altamente tóxicos y como cada residuo plástico en los rellenos libera una pequeña cantidad de dichos tóxicos (bisfenol A, el óxido de etileno, tolueno, ftalatos y muchos metales pesados) estos se acumulan causando problemas ambientales al entrar en los lixiviados. (Elvin, 2015).

Identificación del ciclo de vida de los pitillos de papel.



Figura 18. Fuente: elaboración propia

En relación con la revisión bibliográfica se encontró que el ciclo de vida del papel comienza con la obtención de la materia prima donde el total de energía requerida y emisiones de gases efecto invernadero requeridas para su manufactura depende del tipo de papel que se esté fabricando, sin embargo, en promedio, según Berners (2012) si se trata de un papel fabricado a partir de pulpa virgen

se emiten entre 2,5 – 3 kg Co₂ e por kilogramo de papel. Es decir que por una tonelada de papel se están emitiendo 2500 kg – 3000 kg de Co₂.

Hay que tener en cuenta que cualquier proceso industrial en donde la energía es gastada hay un grado de daño ambiental (Stanley, 1993), en este sentido es importante describir los principales impactos ambientales directos e indirectos que se generan dentro del ciclo de vida del producto de papel de origen virgen y reciclado utilizado para fabricar pitillos:

5) Manufactura

- a. Extracción: según Cullen (2012) el papel, al ser un producto natural transformado de los árboles requiere en primera instancia de plantar y desarrollar la biomasa de los árboles que se van a cosechar, para este proceso se necesitan en promedio 20 años que incluyen la siembra en el vivero, el trasplante cuando la plántula ya está lo suficientemente desarrollada, el abonado constante de la plántula para su desarrollo, la fumigación con herbicidas, pesticidas y fungicidas etc. Lo cual genera impactos evidentes de contaminación en el agua y en suelo que son considerados como pasivos ambientales. (Stanley, 1993)
- b. En segundo lugar, se requiere cortar los árboles que en promedio pesan 250 kg en las plantaciones forestales típicas (*Quercus sp.*) para cortar un árbol se **requiere energía** mediante combustibles que permiten a las sierras derribarlo, lo cual **genera emisiones de Co₂** por quema de combustibles fósiles, y también hay que tener en cuenta las emisiones generadas por la quema de las ramas secundarias que son cortadas del tronco principal (Cullen, 2015).
- c. En tercer lugar, el árbol derribado requiere ser transportado a la fábrica de papel donde el medio de transporte **quema más combustibles fósiles** para llevarlo a su destino (Berners, 2012).
- d. Una vez en la fábrica se procede con el cuarto paso que consiste en romper la estructura del árbol para extraer la fibra de celulosa que se requiere usar. Este proceso se realiza mediante una mezcla de químicos a base de hidróxido de sodio y agua que disuelven la lignina del árbol gracias a una máquina de alta presión que genera vapor a altas temperaturas. Para que dicha máquina funcione se requiere de energía eléctrica y el resultado final del proceso genera la materia prima para elaborar el papel (pulpa de celulosa), junto con un producto de desecho **contaminante** (residuos de lignina y químicos) (Cullen, 2015).
- e. En el quinto paso se produce un **gasto de agua** significativo para lavar la pulpa de celulosa de impurezas, cuando la pulpa es lavada esta se seca y luego se rehidrata aumentando la **huella hídrica** del proceso (Stanley, 1993).
- f. El sexto paso consiste en mezclar la pulpa rehidratada con aditivos que le confieren nuevas propiedades de resistencia y brillo al papel e inmunidad. Dentro de estos aditivos se encuentran los **bactericidas y fungicidas** que también tienen impactos sobre el ambiente como el detrimento de los recursos biológicos (Cullen, 2015).

- g. El séptimo paso consiste en darle forma al papel, mediante unos rollos calientes que cumplen también con la función de secar el exceso de humedad. Cuando se seca, el papel es cortado en grandes pliegos y almacenado en él stock. Para que dichos rollos estén calientes se requiere de **energía eléctrica** ya que necesitan **temperaturas de hasta 250 °C** (Cullen, 2015).
- h. El papel producido y almacenado en el stock es transportado a la fábrica de pitillos generando otro gasto de combustible y por lo tanto **emitiendo más Co₂ en la atmósfera**. Berners (2012).
- i. Dentro de la fábrica de pitillos comienza el octavo paso de manufactura, este consiste en el corte del papel en las medidas estándar para luego ser enrollado en forma de tubo mediante maquinaria especializada que consume **energía eléctrica** (Stanley, 1993).
- j. Finalmente, se le adiciona la parafina, la cual debe ser derretida generando consumo de **energía eléctrica**. Posteriormente el papel, se deja secar y se almacena en el stock.

6) Distribución

- a. Consiste en el transporte del producto a las empresas que los requieren para su logística, o a proveedores de venta al por mayor como cinemas, bares, cafés o franquicias. Dicho transporte puede ser local, regional, nacional, o internacional aumentando la huella de carbono del producto a diferentes escalas (Berners, 2011).

7) Uso

- a. El tiempo de uso de los pitillos es muy corto, durante esta fase el producto que requirió de múltiples procesos para llegar a ser producido sólo es usado por poco tiempo para succionar la bebida del usuario; después de cumplir con este propósito es desechado en la basura. Por lo tanto, durante esta fase no hay impactos negativos al ambiente, pero la forma en que se disponga si tiene implicaciones en la siguiente fase; si no se separa de los residuos orgánicos, u ordinarios terminará en un relleno sanitario.

8) Reciclaje

- a. Sobre el papel reciclado: los desechos de papel para reciclar generalmente provienen de papel periódico, libros, y archivos obsoletos que han sido adecuadamente separados en la fuente. Estos primero deben ser transportados desde las ciudades a las fábricas de papel. Generando emisiones con la **quema de combustibles fósiles**, una vez en la fábrica los papeles usados son dispuestos en grandes baldes que luego pasan por la pulpeadora la cual tiene una **solución acuosa** (aumento de huella hídrica) con ácidos que al ser **calentados** (aumento de consumo de energía) ayudan a separar las fibras de la celulosa que después es forzada por unos orificios que retienen los cuerpos extraños, posteriormente se separan las partículas de tinta de la pulpa de celulosa mediante aire a presión y **químicos surfactantes** que son inyectados dentro de la pulpa. Esta parte del proceso no genera pérdida de agua; el agua residual se vuelve a usar, finalmente la pulpa de celulosa se le retira el exceso de humedad comprimiéndola y se seca con

calor (**aumento de consumo de energía eléctrica**) para que luego pueda ser rehidratada y mezclada con pulpas de celulosa de origen virgen en otros productos de papel reciclado (Cullen, 2015).

9) Disposición

- a. Cuando los residuos del pitillo de papel no son separados en la fuente de manera adecuada. Estos terminan entrando a los rellenos sanitarios donde se descomponen y por lo tanto aumentan su huella de carbono más de lo que lo harían si fueran biodegradados en condiciones de compostaje industrial; generan CH_4 proveniente del metabolismo de microorganismos anaeróbicos que causan putrefacción, se estima que cada kg de papel que no haya sido reciclado genera 500 g de CO_2 e en los rellenos sanitarios (Berners, 2012).

Identificación del ciclo de vida de los equisetos como pitillos.



Fig. 19. Fuente: elaboración propia

Dentro de la información secundaria consultada se encontró que los tallos de los equisetos, al provenir de una planta con tallos fotosintéticos, toman CO_2 de la atmósfera durante su crecimiento. Además de esto se encontró que los tallos de esta planta crecen rápidamente al ser una planta pionera, probablemente no requiere de pesticidas o herbicidas, y según las pruebas físicas realizadas en el presente estudio tienen potencial para ser usados como pitillos.

Por lo tanto, es importante describir los impactos ambientales que se generan al producir pitillos con esta planta:

1) Manufactura

- a. **Extracción:** para esta investigación se usaron un total de 75 tallos de equisetos de la

finca San miguel, para lo cual se tuvo que hacer un viaje en carro desde la capital (Bogotá) hasta la vereda Guayacundo bajo (Finca, San Miguel), que queda a una distancia de 100 km, para un total de 200 km de viaje ida y vuelta. Teniendo en cuenta que se emiten 350 g de Co₂ e por cada milla recorrida en un carro promedio se puede aproximar la huella de carbono de este viaje en **43,49 kg de Co₂** (Berners, 2012).

- b.** En segundo lugar, se cortaron y perforaron los entrenudos de los tallos mediante un palito chino hecho de bambú reusable (Anexo, foto No 2) y luego se tuvieron que lavar los tallos con **1 litro de agua** del grifo, más otro **litro de agua** para la sanitización con vinagre que consto de poner en inmersión durante 10 minutos a los tallos de los equisetos cortados en forma de pitillo de 20 cm de largo dentro de una olla con 1 litro de agua más **40 ml de vinagre**. El producto de desecho fue agua con vinagre, el cual fue vertido en una compostera casera.
- c.** Una vez sanitizados se procedió a secarlos bajo el sol durante 2 horas (20 °C)
- d.** El cuarto paso fue guardarlos en un recipiente de tapa ancha en un lugar seco y a la sombra.

2) Distribución hipotética

- a.** Consiste en el transporte del producto a las empresas que los requieren para su logística, o a proveedores de venta al por mayor como cinemas, bares, cafés y franquicias. Dicho transporte puede ser local, regional, nacional, o internacional aumentando la huella de carbono del producto a diferentes escalas (Berners, 2012).

3) Uso hipotético

- a.** El promedio de uso de los pitillos está estimado en 10 a 30 minutos, durante esta fase cumple una función de succión y después de cumplir con este propósito es desechado. Por lo tanto, durante esta fase no hay impactos negativos al ambiente, pero la forma en que se disponga si tiene implicaciones en la siguiente fase. Si no se separa de los residuos orgánicos, u ordinarios terminará en un relleno sanitario y no en una biofábrica de compostaje industrial.

4) Disposición hipotética

- a.** Cuando los residuos del tallo del equiseto no son separados en la fuente de manera adecuada, estos terminan entrando a los rellenos sanitarios donde se descomponen y por lo tanto aumentan su huella de carbono; generan CH₄ proveniente del metabolismo de microorganismos anaeróbicos que causan putrefacción (Berners, 2012).

Según Stanley (1993) una gran fuente de los desechos que frecuentemente causan la mayoría de los problemas ambientales son los desechos generados después de que los productos cumplen con su propósito, por lo tanto, este estudio enfoca este análisis cuando el ciclo de vida de los productos ha terminado y se entra en la fase de posconsumo.

Enfoque del análisis en el posconsumo:

Idealmente al final del ciclo de vida de los tallos de los equisetos como pitillos, estos se llevarían a una biofábrica donde han de someterse a condiciones de compostaje. Por lo tanto, en este estudio se simularon las condiciones de compostaje para monitorear cómo se biodegradarían los equisetos como pitillos y también se incluyeron muestras de pitillos de papel y plástico. Los resultados con relación a este monitoreo se muestran a continuación:

Tabla No 13: pesos iniciales y finales de los pitillos antes y después de biodegradarlos

Peso	Equisetos	Papel	Plástico
Inicial	72.48 gramos	35.63 gramos	10.62 gramos
Final	39.37 gramos	26.71 gramos	10.58 gramos
diferencia I/F	33.11 gramos	8.91 gramos	0.04 gramos
Proporción	54.31 %	74.97%	99.62%

la tabla No 8. Muestra los resultados de la prueba de biodegradación en cuanto a los pesos iniciales y finales de los tres tipos de materiales de pitillos evaluados, tal como se puede evidenciar en la tabla, se encontró que los equisetos pesan más que los demás materiales, y que después de un mes de ser

sometidos a condiciones de compostaje, los equisetos perdieron un 56 por ciento de su masa inicial. Los resultados del conteo celular por cada cuadro de la cámara Neubauer se resumen en la siguiente tabla (tabla No 9).

En relación con la prueba de biodegradación se puede observar en la siguiente tabla el número de microorganismos por cada cuadro contado mediante la cámara Neubauer, este número se obtuvo siguiendo el método de recuento celular utilizando el microscopio en el objetivo 100x.

Tabla No 14. Resultados del monitoreo del crecimiento de microorganismos

	Primer día	Octavo día	Dieciseisavo día	Vigésimocuarto día	Treintaidosavo día
Pitillo papel	44	2632	2595	539	326
Pitillo papel	40	2453	2274	521	432
Pitillo papel	32	2162	2829	483	374
Pitillo papel	36	2267	2731	449	341
Pitillo papel	37	2471	2360	461	453
\bar{x}	37.8	2397	2397	490.6	385.2
σ	4.494	184.365	184.365	38.507	55.612
Pitillo plástico	47	469	296	49	46
Pitillo plástico	39	441	284	51	37
Pitillo plástico	42	453	295	46	50
Pitillo plástico	46	326	264	41	64
Pitillo plástico	36	397	257	55	41
\bar{x}	42	417.2	279.2	48.4	47.6
σ	4.636	57.569	17.880	5.272	55.612
Equiseto	55	3319	4325	2335	4100
Equiseto	50	3432	4217	2841	3385
Equiseto	47	3470	4829	2180	4872
Equiseto	56	3521	4175	2248	4750
Equiseto	62	3423	4492	2739	4327
\bar{x}	54	3433	4407.6	2468.6	4286.8
σ	5.787	74.515	265.497	300.666	593.036

Al observar la tabla de arriba se evidencia que los Equisetos, registraron un promedio mayor de conteo celular que los otros tipos de materiales evaluados.

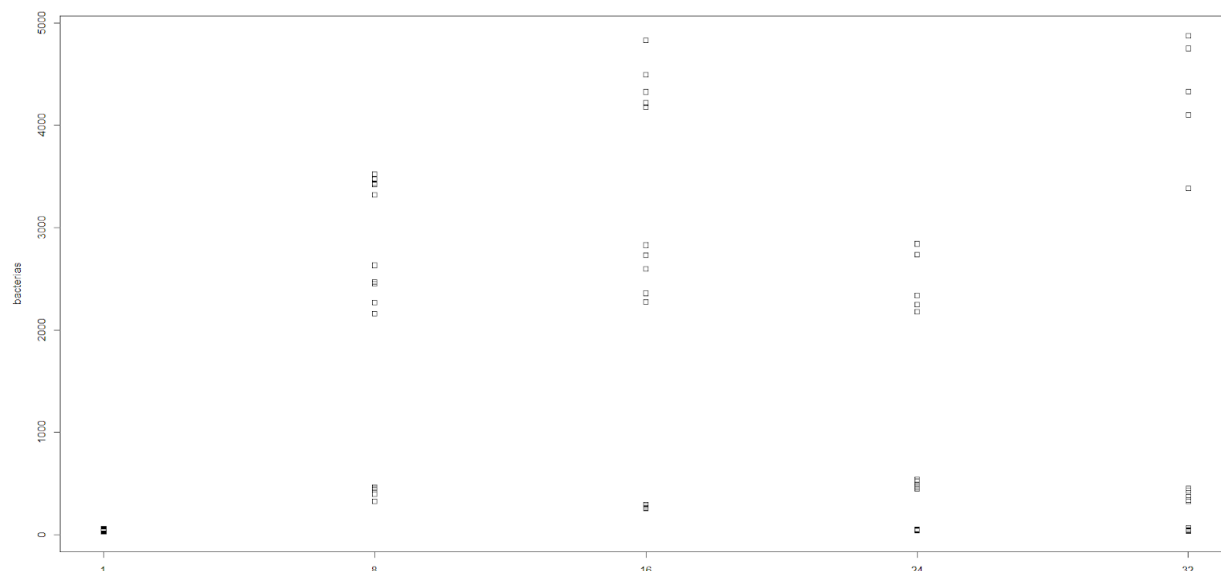
Tabla No. 15 resultados de las estimaciones de concentraciones (aplicando la formula No 2) de microorganismos en los pitillos en número de células por ml

	Primer día (celulas/ml)	Octavo día (celulas/ml)	Dieciseisavo (celulas/ml)	vigesimocuarto (celulas/ml)	Treintadosavo (celulas/ml)
Pitillo papel	37800	2397000	2557800	490600	385200
Pitillo plástico	42000	417200	279200	48400	47600
Equiseto	62600	3967400	5344000	2426800	4286800

Según la tabla No 10. se encontró que los equisetos tienen la mayor concentración de microorganismos en comparación con los pitillos de papel y los pitillos plásticos durante todo el monitoreo.

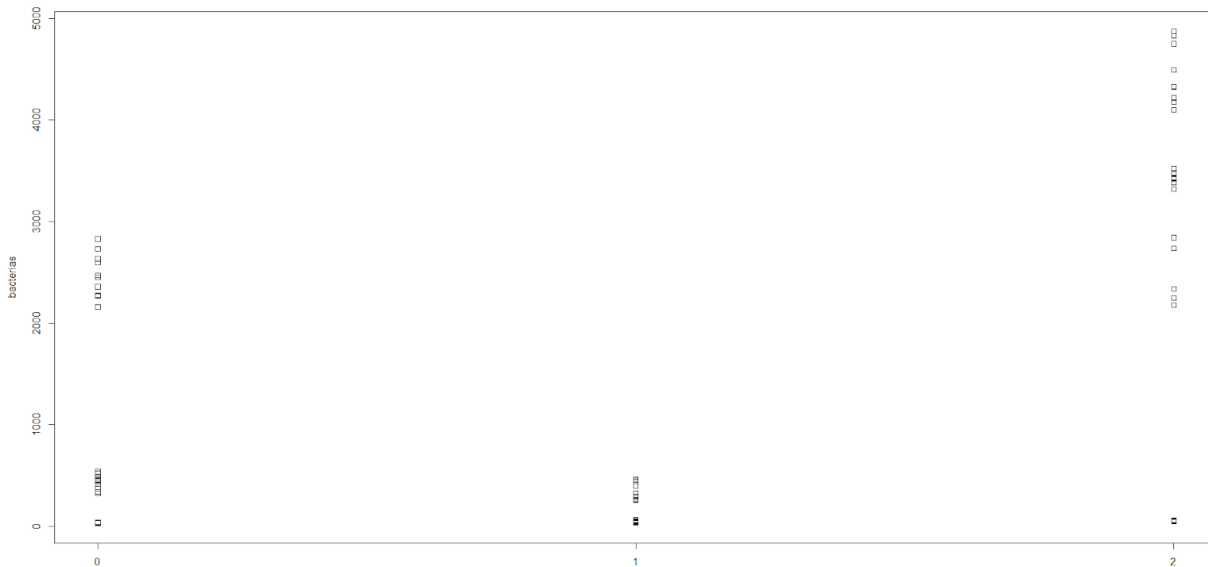
Análisis estadístico pruebas de biodegradación

Grafica No 35 de dispersión del monitoreo del crecimiento de microorganismos en todos los materiales evaluados durante un mes. (x: número de días, y: número de microorganismos).



En el diagrama de puntos de dispersión de arriba se presenta el monitoreo del crecimiento de microorganismos, medidos en número de microorganismos contados por cada cuadro de la cámara neubauer. En el diagrama de arriba, se observa claramente que a medida que aumentan el número de días, también se incrementa el número de microorganismos en los pitillos, aunque la cantidad de microorganismos disminuye pasados los 20 días, y vuelve a incrementar en el conteo registrado en el treintadosavo día para el caso de los equisetos (extremo superior derecho del diagrama), mientras que para los otros tipos de materiales disminuyo el conteo aún más para el treintadosavo día.

Grafica No 36 de dispersión del monitoreo del crecimiento de microorganismos por cada tipo de material (x: 1, pitillos papel. 2, pitillos plásticos. 3, tallos equisetos. y: Numero de microorganismos).



En el diagrama de dispersión de arriba, se presenta el monitoreo del crecimiento de microorganismos, medido en cantidad de microorganismos contados por cada cuadrado de la cámara neubauer contada, según la clase de pitillo. En la gráfica, se tiene en el centro los pitillos de plástico (1), los cuales tienen menor cantidad de microorganismos, mientras que los equisetos (en última posición) son aquellos que desarrollan mayor crecimiento de microorganismos.

A continuación, se presentan las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis realizadas a los datos de la cantidad de microorganismos por cada tipo de material evaluado:

Kruskal-Wallis rank sum test

Kruskal-Wallis chi-squared = 32.51, df = 4, p-value = 1.504e-06

Para esta prueba la hipótesis nula es que la variable respuesta (cantidad de microorganismos) es la misma en todas las poblaciones valoradas. Se tiene que la hipótesis nula es rechazada por el valor de probabilidad p que es de 1.504e-06. Es decir, la estadística obtenida nos indica que hay diferencias significativas entre el tipo de pitillos y la cantidad de microorganismos que estos presentan a través del tiempo. Además, en el diagrama de dispersión de arriba, se observaba claramente que los pitillos de plástico son los que menos microorganismos desarrollan en su superficie. Como los resultados fueron significativos, la prueba de Nemwyi nos permite realizar comparaciones a pares.

Pairwise comparisons using Tukey and Kramer (Nemenyi) test with Tukey-Dist approximation for independent samples

Tabla No 16 de resultados de la prueba Nemwyi (comparaciones por pares entre la cantidad de microorganismos en cada uno de los días en que se realizó el monitoreo)

	1	8	16	24
8	8.9e-06	-	-	-
16	7.5e-06	1.0000	-	-
24	0.0128	0.4129	0.3927	-
32	0.0045	0.6093	0.5874	0.9981

Observando los valores obtenidos por las comparaciones por pares. Podemos observar que hay una gran similitud en la cantidad de microorganismos para los días 24 y 32, seguido por los días 32 y 16. Que siguen el concepto planteado en el diagrama de dispersión inicial, que el número de microorganismos tiende a estabilizarse a medida que transcurren los días. Y solo presentan un aumento rápido entre la medición del día 1 y 8 donde la similitud es casi 0.

III) POR QUÉ OPTAR O NO POR ESTA ALTERNATIVA PARA LOS PITILLOS PLÁSTICOS, RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS.

7. DISCUSIÓN

De acuerdo con los diferentes tipos de pruebas desarrolladas, los principales hallazgos de este estudio se pueden evidenciar a nivel de las variables físicas evaluadas. En primer lugar, se encontró que la resistencia a la tensión en los equisetos superó en un orden de magnitud a los otros tipos de pitillos evaluados (papel y plástico). En segundo lugar, la resistencia a la compresión fue similar en ambos materiales evaluados (plástico y equisetos), y la flexión también mostró que el material de los equisetos junto con el del papel resiste esfuerzos mayores que los registrados por el plástico. Todos estos hallazgos fueron soportados por las pruebas de correlación de Spearman, o en su defecto con las pruebas de comparación por pares de Tukey y Kramer donde se demostró que existen similitudes en las propiedades mecánicas entre los tallos de los equisetos y los pitillos plásticos, o entre los tallos de los equisetos y los pitillos de papel. A nivel de pruebas con usuarios, se encontró que los encuestados que utilizaron el pitillo biológico de *Equisetum* manifestaron una alta satisfacción en las pruebas de usabilidad. Por otro lado, el ensayo de migración global determinó que las sustancias migrantes del pitillo biológico de *Equisetum giganteum* a los simulantes de comida (etanol al 10%) se mantienen dentro de lo permitido por la norma NTC 5022 con una migración máxima de 3.3mg/dm². En cuanto a las pruebas de succión, se observó que los equisetos tienen una mayor capacidad de transportar líquido que los pitillos convencionales (p.e. cuando fue usado en el jugo de piña), debido posiblemente a su particular fenotipo biológico (sistema vascular con canales carinales). Por último al comparar las proporciones resultantes de la prueba de biodegradación, se observa que no hubo cambios significativos en la pérdida de masa por acción de los microorganismos en los pitillos plásticos (del 100% - 99.62%) después de las 4 semanas de monitoreo. Por el contrario, las proporciones de pesos iniciales y finales de los pitillos de papel (del 100% - 74.97%) y de equisetos (del 100% - 54.31%) sí mostraron significativas diferencias.

Todos los hallazgos citados sugieren que existe un potencial por parte de los equisetos para ser usados como pitillo biológico que genere una alternativa al uso de pitillos de papel y un potencial remplazo futuro a los pitillos plásticos. A continuación, se realiza un análisis con base en estos resultados sobre las posibles razones que pueden estar explicando los datos obtenidos.

Los resultados de la prueba de tensión (gráfica No 1, No 2. No. 3) sugieren que se requiere de un menor esfuerzo para deformar a los pitillos plásticos en comparación con los esfuerzos que requieren los pitillos de papel y los tallos de equisetos para ser deformados en la misma proporción. Esto se puede explicar posiblemente por las propiedades mecánicas del plástico, ya que al ser un material sintético que es mezclado con aditivos (como los Ftalatos) que le confieren mayor plasticidad, pueden ser deformados con menores esfuerzos cuando son jalados por sus dos extremos. En cambio, el papel y los equisetos al estar compuestos por polímeros de celulosa no poseen la misma plasticidad de los plásticos. Sin embargo, y teniendo en cuenta que los tallos de los equisetos tienen resistencias a la tensión mayores que las registradas por los pitillos de papel se puede afirmar que

existe un potencial de este material biológico para ser usado como alternativa a esta última clase de pitillos.

En cuanto a las pruebas de comprensión, se evidencia que tanto el pitillo de plástico como el tallo de los equisetos presentan una resistencia similar. Estos resultados sugieren que el desempeño del tallo de los equisetos puede ser muy similar al de los pitillos plásticos cuando se comprime, esto se debe a la estructura del equiseto, el cual, por su alto contenido de sílice (Colorado, 2011), soporta la compresión producto de dos fuerzas. Por lo tanto, se puede afirmar que los tallos de los equisetos tienen suficiente resistencia a la compresión como para ser manipulados por los usuarios sin romperse, tal como fue corroborado en las pruebas de usabilidad con los usuarios.

En cuanto a la flexión, los resultados sugieren que los tallos de los equisetos pueden ser usados como pitillos pues requieren de más esfuerzo para ser doblados que el material actual de referencia (plástico) posiblemente gracias al alto contenido de sílice que caracteriza a los equisetos (Colorado, 2011), lo cual le confiere una consistencia fuerte y por lo tanto genera una ventaja competitiva en comparación con los pitillos plásticos, ya que durante las pruebas de usabilidad los encuestados manifestaron que el tallo de los equisetos daba más seguridad para revolver las bebidas que el material convencional de pitillos.

Considerando las pruebas de succión. en cuanto el volumen de líquido máximo que llegó a succionarse mediante el pitillo de equiseto, este superó a los volúmenes máximos que los otros pitillos lograron transportar. Sin embargo, es posible que la diferencia se deba a la estructura vegetativa de los tallos de los equisetos; al tener el tallo hueco no puede transportar el agua como otras plantas vasculares por medio del xilema, para ello posee unas estructuras circulares que bordean el contorno del tallo denominados canales carinales, los cuales pueden estar conduciendo el líquido por capilaridad hacia arriba al momento en que el pipeteado succiona el líquido.

Si tomamos en consideración el número de ml de granizado de café que fueron succionados con los tres materiales de pitillo, tanto los volúmenes de líquido transportado por los pitillos de papel como los de plástico están correlacionados positivamente con los volúmenes de líquido transportado con los tallos de los equisetos según la prueba de spearman, ya que se obtuvieron valores de Rho de 0.5, y de 0.56 respectivamente. Lo cual implica que los tallos de los equisetos podrían estar desempeñando la misma función que los pitillos convencionales para succionar granizados.

Por otra parte, al analizar los testimonios de los participantes de la prueba de usabilidad, que corresponden a personas adultas de 40 a 60 años que habían usado pitillos dentro de los pasados 6 meses, entre 6 meses y un año, y más de un año. Se puede afirmar que las pruebas de uso con los perfiles de los participantes citados arrojaron resultados positivos con respecto al desempeño de los pitillos elaborados con tallos de equisetos; solo un participante calificó como regular la eficiencia de la boquilla del pitillo, el resto de los participantes manifestaron que les parecía una buena alternativa al pitillo convencional (estado actual) ya que calificaron la eficiencia del pitillo como buena en todos los casos en cuanto a su consistencia durante los pasos o tareas que se requieren para usarlo para succionar bebidas (a. destapar, b. ponerlo en la bebida, c. manipularlo para llevarlo a la boca, d. succionarlo con los labios, e. mezclar). Estas percepciones positivas pueden ser explicadas por la tendencia mundial en contra del plástico de uso único, que está llevando a que los consumidores sean sensibilizados por medio de las redes sociales acerca de las implicaciones ambientales de usar los plásticos desechables.

En cuanto a las edades de las personas que participaron en la prueba, se evidencia que presentan un comportamiento bimodal; la moda es igual a 45 años como también a 60 años lo cual está validando el diseño de la prueba en cuanto a la distribución de las frecuencias de las edades. Estas edades de los participantes se mantienen dentro del rango de edades propuesto en los métodos,

lo cual es importante puesto que representan a las personas que más piden pitillos en los restaurantes en Bogotá y para sorpresa del autor todos los participantes se mostraron complacidos al usar el pitillo biológico, lo cual sugiere que podríamos en el futuro próximo (junto con más estudios) dar a conocer esta alternativa del pitillo plástico desechable.

Al calcular la desviación estándar del tiempo de succión por parte de los usuarios se obtiene: $S^2 = 5.164497$. Esto implica que más de la mitad de los datos (68.25%) del tiempo de succión que les toma a los usuarios sorber 100 ml de líquido usando los tallos de los equisetos como pitillos está entre 13.9605 segundos y 24.28955 segundos. Por lo tanto, puede existir una diferencia de 10.32905 segundos entre los tiempos de succión de los usuarios que menos se demoraron succionando las bebidas de 100 ml en comparación con los usuarios que se demoraron más tiempo. Esto no quiere decir que algunos pitillos tengan un desempeño mejor que otros porque, como se pudo observar, en las pruebas de usabilidad (Anexo 6) para los usuarios los tiempos fueron adecuados para el propósito. Ellos manifestaron lo siguiente al respecto:

John Jairo Feria: “Fue como Normal”

María Eugenia Pacalaqua: “Pude succionar lo que esperaba”

Dentro de las encuestas de satisfacción las respuestas seleccionadas para la pregunta No 3 (¿En términos de facilidad, piensa que el pitillo fue cómodo y fácil de usar?) por los participantes muestran que aproximadamente el 83 por ciento de los encuestados pensó que el pitillo biológico fue cómodo y fácil de usar porque calificaron al pitillo biológico con la opción más alta. De igual forma, para la pregunta No 1. el 83 por ciento de los usuarios, manifestaron que habían podido succionar la totalidad de la bebida que esperaban con el más alto calificativo. Este resultado se puede explicar gracias a las propiedades mecánicas de los tallos de los equisetos, ya que al ser resistente ante los esfuerzos de flexión genera seguridad para los usuarios al manipularlo sin tener que preocuparse por que se doble mientras lo toman con los dedos para llevarlo a la boca.

La pregunta No. 2 (¿en cuanto al color y la forma del pitillo, piensa usted que fue llamativo?) también obtuvo una buena calificación por parte de los usuarios, ya que el 66 por ciento de los participantes le dieron la máxima calificación, esto porque los equisetos parecen un tallo de bambú verde, lo cual hace que sea atractivo para los que lo ven por primera vez.

Las respuestas a la pregunta No 4. por parte de los encuestados, muestra de forma contundente que los tallos de los equisetos tienen potencial de ser usados como pitillo biológico, ya que todos respondieron que están totalmente de acuerdo con volver a usar estos pitillos y que fue una experiencia agradable, se puede inferir que los usuarios les gustó la experiencia con el pitillo biológico porque además de que es funcional, es un tipo de pitillo nunca antes visto, es una innovación en la forma, color, y sensación al tacto.

En cuanto a la pregunta No 5. se puede observar que los encuestados podrían estar interesados en utilizar el pitillo biológico en reemplazo de los pitillos plásticos, ya que todos respondieron que les gustó más este modelo de pitillo, que los pitillos que habían usado en el pasado, esto gracias a que consideran que es un pitillo amigable con el ambiente tal como lo menciona Luz Marina Motta: “Si sacaran un pitillo, así como dice, que va a ser de una planta me parece bien”

Si tenemos en cuenta la desviación estándar (0,51) de las respuestas de los encuestados en la pregunta No 6. se evidencia que es una varianza baja y que como 5 de los participantes respondieron que estarían totalmente de acuerdo con recomendar los pitillos biológicos a otras personas, entonces se puede afirmar que, de salir este producto al mercado, los encuestados se inclinarían a recomendar su uso a otras personas. Esta afirmación se ve soportada por el comentario realizado por la participante María Eugenia Pacalaqua, ya que ella dijo: “Si tengo en lo personal me parece excelente, lo

recomiendo totalmente a otros”

La pregunta 8 es fundamental para responder de forma positiva la primera pregunta específica de investigación (¿Los Equisetos podrían ser usados para succionar bebidas sin cambiar las propiedades de los alimentos con los que entrarán en contacto?), ya que se obtuvo un promedio de las respuestas muy cercano a 5, con una desviación estándar baja de 0.40, lo cual significa que las respuestas fueron homogéneas y por lo tanto la mayoría de los encuestados piensan que el pitillo biológico de los equisetos no le cambio el sabor a la bebida. Tal como quedó registrado en los comentarios de los usuarios:

Helena Alfonso: “No le cambio el sabor” refiriéndose a que el pitillo no le cambio el sabor a la bebida

En cambio, las respuestas de la pregunta 9 presentaron la desviación estándar más alta (0.84) de todas las preguntas de la encuesta, sin embargo esto no quiere decir que los usuarios no les pareciera adecuado el diámetro del pitillo biológico, como se puede evidenciar por los comentarios que realizaron al respecto:

Helena Alfonso: “Ahí está bien el ancho”

Por último, cabe resaltar que la mayoría de las participantes manifestaron que al poner los labios sobre el pitillo, este no se deshizo en la boca, y por lo tanto el 83% de los participantes lo calificaron como un pitillo con una consistencia adecuada para ponerlo en la boca (Buena) y el 16% como regular, y no manifestaron que no fuera adecuada la consistencia del pitillo.

Como soporte estos son los comentarios de los usuarios al respecto:

Flor Esperanza: “No se deshace en la boca”

Luz Marina Motta: “No se deshace, es bueno”

Si tenemos en cuenta las pruebas de biodegradación como se puede evidenciar en la tabla No 8., se muestran las diferencias de pérdida de masa de los tres tipos de pitillos por acción de la biodegradación, y al comparar las proporciones se observa que no hubo cambios significativos en el plástico (de 100% - 99.62%) después de las 4 semanas. En cambio, los pesos iniciales y finales de los pitillos de papel y de equisetos si mostraron grandes diferencias, estos datos implican por un lado, que los tallos de los equisetos perdieron aproximadamente un 55% de su biomasa por biodegradación, mientras que los pitillos de papel perdieron aproximadamente el 25%; estos resultados sugieren que la parafina añadida al papel, junto con los fungicidas y bactericidas, que también se suelen agregar como aditivo al papel (Cullen 2012), están dándole una ventaja competitiva al material de los tallos de los equisetos sobre el papel en términos de un menor impacto ambiental en la fase de posconsumo en materia de emisiones de CO₂.

Así mismo la ventaja que tienen los tallos de los equisetos sobre los pitillos de plástico, consiste en que cuando los pitillos plásticos son usados por parte de los usuarios y se dejan de manera accidental o intencional en el medio natural estos no se pueden eliminar de manera in situ (Colonna, 2010), a diferencia de los pitillos de equisetos. Adicionalmente como el pitillo plástico es un elemento desechable de uso único que es difícil de separar y limpiar de otros residuos para su reciclaje, es mejor que la alternativa tenga una alta biodegradabilidad como ocurre con los equisetos.

Teniendo en cuenta estos resultados, hablando en términos de biodegradación, se espera que los tallos de equisetos usados como pitillos se conviertan en nueva biomasa en un menor periodo de tiempo que el de papel. Esta predicción se soporta aún más con el resultado del conteo de microorganismos por cada tipo de material, como se puede evidenciar en la tabla No 9., lo cual implicaría que el ciclo de vida del producto es más corto en la fase de posconsumo para el caso del equiseto y que a pesar de que se emite dióxido de carbono, producto del metabolismo de los microorganismos, la duración va a ser menor en comparación con los pitillos de papel y de plástico.

El que los pitillos plásticos no se biodegraden fácilmente significa que estos siguen aportando a la problemática de contaminación global por plásticos y microplásticos. En cifras estimadas recientemente se ve reflejada la dimensión del problema, ya que se calcula que más de 5700 millones de toneladas de plásticos se encuentran dispersos por todos los ecosistemas del mundo, ya que esta es la estimación del total histórico de plásticos que no fueron reciclados y que tampoco fueron llevados a un relleno sanitario (Parker, 2018). Teniendo en cuenta los resultados y que los estimativos más positivos calculan que algunos plásticos como el PET, se demoran al menos 450 años en biodegradarse. Se puede afirmar que los pitillos de equisetos tienen una ventaja abismal, ya que se estaría biodegradando en su totalidad en poco más de 2 meses en condiciones de compostaje.

Es de resaltar que la biodegradación de materiales vegetales compuestos de celulosa, como lo es el tallo de equiseto y el pitillo de papel, se da por medio de la oxidación gracias a enzimas como la peroxidasa, que generan productos de degradación inofensivos para el medio ambiente (Colonna, 2010) a diferencia de los plásticos que liberan tóxicos y se acumulan en los ecosistemas según Elvin (2015). A partir de esto se puede afirmar que los materiales vegetales para producir pitillos se destacan por el cuidado del medio ambiente en la fase de posconsumo en comparación con los pitillos plásticos.

Sin embargo y tal como lo deja claro la guía para el análisis del ciclo de vida organizacional (2015) de las naciones unidas, enfocarse en las operaciones internas de producción es un buen punto de partida, pero no sirve de mucho si no se incluyen dentro del análisis a los impactos indirectos, debido a que estos tienden a sumar hasta el 80% de los impactos ambientales, mientras que apenas el 20% restante, es el que tiende a ocurrir dentro de las operaciones internas. Por ende como este estudio enfocó el análisis en el posconsumo, se recomienda realizar en estudios futuros un inventario detallado de las entradas y las salidas de las otras fases del ciclo de vida de los tallos de los equisetos como pitillos, sobre todo en los impactos de la fase extractiva para poder diseñar un método de producción sostenible minimizando el consumo de agua, energía y materias primas no renovables mediante un cultivo de *Equisetum giganteum* que sea orgánico y producido mediante insumos locales, mientras se reduce la producción de desechos tóxicos como el plástico (Stanley, 1993).

Los resultados obtenidos al aplicar la fórmula de concentración celular muestran un crecimiento acelerado para el caso de los pitillos de papel (pico en 2,557,800 microorganismos/ml) y tallos de los equisetos (pico en 5,344,000 microorganismos/ml), en cambio, los pitillos plásticos mostraron un pico de 417,200 microorganismos/ml en la concentración de microorganismos (Tabla No 9) lo cual evidencia una diferencia de un orden de magnitud entre los microorganismos que crecen en los pitillos biológicos de *Equisetum* en comparación con los pitillos plásticos, estos microorganismos cuantificados se les tomaron microfotografías (Anexos, Foto No 8, Foto No 9) donde se pudo observar que dominaban las bacterias de formas esféricas como cocos y también se encontraban bacterias con formas de bastón angulares. Probablemente estas bacterias correspondan comunidades bacterianas ácido lácticas fermentativas, ya que según Katz (2014) en los vegetales y materiales orgánicos las bacterias ácido lácticas se encuentran de forma natural.

Al comparar el ciclo de vida de los productos de los pitillos de papel con los pitillos biológicos de equisetos, es importante resaltar, que para producir 1 tonelada de papel virgen se requiere talar 24 árboles, que tardaron en promedio 20 años en crecer (Cullen, 2015), en cambio para el aprovechamiento de los equisetos lo que se propone es cosechar tallos del organismo colonial, sin causarle mortandad teniendo en cuenta la fenología de la especie, para que esta pueda seguir prestando los servicios ecosistémicos mediante sus atributos funcionales dentro del ambiente donde se encuentra.

Para poder saber cuántos tallos se pueden cosechar sin aumentar la mortalidad de la población, se recomienda en estudios posteriores, realizar diseños experimentales de los efectos de diferentes

tasas de cosecha sobre las poblaciones de equisetos (*Equisetum Giganteum*) de interés.

Al analizar los datos de las pruebas de migración global se puede destacar que según Colonna (2010), la celulosa es el principal constituyente de las paredes celulares vegetales. Este material se caracteriza por estar compuesto de un polímero lineal, con cadenas muy largas y repetitivas de una unidad de monómero conocida como glucosa. A diferencia de la glucosa que usamos para endulzar las bebidas, la glucosa de la celulosa se encuentra en un estado de polimerización que es insoluble en todos los solventes. Esta propiedad de insolubilidad puede estar explicando lo que se vio reflejado en la prueba de migración global, ya que en promedio los tallos de los equisetos están transfiriendo tan solo 1.49mg/dm^2 de sustancias no volátiles a las bebidas.

8. CONCLUSIONES

Por lo tanto, se concluye en este trabajo de grado que la especie *Equisetum giganteum* tiene potencial para ser una alternativa al uso de los pitillos plásticos desechables al largo plazo, y también que de salir al mercado, los tallos de los equisetos podrían tener aceptación gracias a que se trata de una alternativa amigable con el ambiente en comparación a los estados actuales de pitillos como se ve reflejado con la alta biodegradabilidad de este producto. Además de esto hay que tener en cuenta que todos los resultados de las pruebas realizadas soportaron la afirmación de que existe un potencial de la especie *Equisetum giganteum* para ser usada como alternativa a los pitillos plásticos. También se concluye que al ser biodegradables, los pitillos de equiseto han demostrado mediante las pruebas a las que se lo ha sometido, que son una alternativa seria e innovadora a los estados actuales de este tipo de producto y por lo tanto, con más estudios a profundidad (sobre el efecto que la cosecha tendría sobre las poblaciones silvestres de esta planta, y sobre cómo cultivarlos mediante técnicas de agricultura orgánica) podría llegar a ser una alternativa viable al pitillo convencional de plástico en el futuro. Disminuyendo de esta forma otro producto basado en el petróleo. Y por lo tanto se estaría ayudando a reducir el desperdicio plástico en el país, aportando de esta forma a tener un ambiente más limpio para reducir los riesgos de salud. Lo cual es importante en un mundo donde estamos acabando con los combustibles fósiles a tasas astronómicas que superan la producción actual, generando pasivos ambientales nefastos para las generaciones actuales y futuras.

Por último se puede concluir que el uso de materiales biológicos que no requieran de complejas transformaciones, como ocurre en este caso de los pitillos de equisetos, reduce los niveles de contaminación porque aporta una alternativa al uso de un producto desechables que no es reciclado en la práctica porque no están acoplados a este proceso por la dificultad que supone el recogerlos, individualizarlos y limpiarlos de una forma costo-eficiente.

Recomendaciones

Se recomienda en próximos estudios, realizar investigaciones demográficas a profundidad sobre los efectos que implican las cosechas de tallos para las poblaciones silvestres de la especie *E. giganteum*. Esto con el propósito de proponer una tasa de cosecha que garantice la supervivencia de la población de interés. También se recomienda experimentar diversos métodos de cultivo orgánico para el establecimiento de poblaciones exsitu que puedan ser viables en términos de costo-beneficio.

Se recomienda en próximos estudios ahondar más en las pruebas necesarias para poder cumplir con la resolución 834 de 2013 de la legislación Colombiana, que describe los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales celulósicos, ya que en este estudio no se pudieron realizar por el tiempo y los recursos necesarios para llevarlos a cabo

También se recomienda para próximos estudios la determinación de la conductividad térmica de los tallos de los equisetos, ya que como se mencionó en los antecedentes, algunos

materiales pueden generar incomodidad en los usuarios por los cambios bruscos de temperatura entre el material del pitillo (al ser sumergidos en bebidas frías o calientes) y el entorno.

Por otra parte, como el material de los equisetos cambia sus propiedades mecánicas al ser expuesto y/o sumergido dentro de las bebidas, ya que cambia su consistencia rígida a una consistencia más flexible después de estar unos segundos en inmersión, se recomienda para estudios futuros, realizar las mismas pruebas físicas evaluadas en este estudio del material de los equisetos después de haber sido sumergido en las bebidas.

También se requieren de más estudios a profundidad que evalúen otras propiedades mecánicas, como la plasticidad del material biológico en diferentes condiciones (antes y después de haber sido sumergido en bebidas durante un tiempo significativo) para saber en qué grado varían estas propiedades.

Se requiere que en estudios futuros se procure repetir estas pruebas con un número de réplicas mayor (30), ya que los coeficientes de variación de cada tipo de material difieren entre sí en gran medida. Siendo los vectores resultantes del pitillo de papel, los que tienen el menor coeficiente de variación (5.20) y los tallos de los equisetos los que mayor coeficiente de variación tienen (13.77).

También, como en este estudio se realizó una prueba de biodegradabilidad, sin realizar la subsiguiente prueba de ecotoxicidad, se recomienda en estudios futuros llevarlo a cabo para comparar la toxicidad de los plásticos con el material de los equisetos.

Para poder saber cuántos tallos se pueden cosechar sin aumentar la mortalidad de la población, se recomienda en estudios posteriores, realizar diseños experimentales de los efectos de diferentes tasas de cosecha sobre las poblaciones de equisetos (*Equisetum Giganteum*) de interés.

Otros estudios que también son necesarios para llegar a producir y comercializar en el futuro este tipo de pitillos serían: un estudio de migración global específica mediante espectrofotometría, con el cual se pueden determinar qué tipo de residuos son los que componen los 1.49 mg/dm² que en promedio fueron registrados en los ensayos de migración global; también se recomienda realizar una investigación fenológica de la especie *Equisetum giganteum* en Colombia, y otra investigación sobre las abundancia poblacional de esta especie en las 4 regiones donde han sido reportadas para el país, esto con el propósito de evaluar en qué grado podrían estar supliendo la demanda nacional de pitillos que según cifras del DANE (2016) superan los 19,8 millones de pitillos al año.

BIBLIOGRAFÍA

9. REFERENCIAS CITADAS

Aristizábal, A., Manrique, M. (2017). Ensayos y propiedades de los materiales. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. pp 11

Avio, C., Gorbi, C., Regolif. (2016). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerge threat. Marine Environmental research. Ancona. Italy. Vol 128. pp 2 - 11

Badii, M. H.; Guillen, A.; Abreu, J. L. (2017) La industria y el desarrollo sostenible. International Journal of Good Conscience. Mexico. Vol 12. pp 105 - 126

Beattie, A. J; Hay, M.; Magnusson. B.; NYS, R.; Smeathers, J; Vincent, V. F. J. (2011) Ecology and

bioprospecting. *Austral Ecol.* Vol 36. pp 341 - 356

Bermudez, D. (2018) Colombia y la cruzada mundial contra el plástico de uso único. A fondo. *El Tiempo*. Escuela de periodismo multimedia. Bogotá D.C. Colombia. pp 2.2 - 2.3

Bernal, R., Celis, M. (2016) Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Volumen 1. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. Bogotá, D.C, pp 466

Berners, L. M. (2011) How bad are bananas, the carbon footprint of everything? Geystonebooks. Vancouver. pp. 79

Binder, Seth & Polasky, Stephen. (2013) Biodiversity, Human wellbeing and Markets. *Encyclopedia of Biodiversity*. pp. 435-439

Bhatti, J.A. (2010). Current state and potential for increasing plastics recycling in the U.S. Department of earth & Environmental Engineering. Columbia University. USA. pp 1 – 66

Brooks, J. (2014). Brooks on beer: the ancient origins of beer – and straws. *Mercurynews*. Recuperado de <https://www.mercurynews.com/2014/08/20/brooks-on-beer-the-ancient-origins-of-beer-and-straws/>

Camelo, L.M., Martínez, M.L., Ovalle, H., Jaimes, V. (2016). Conservación ex situ de la vegetación acuática de humedales de la sabana de Bogotá. *Biota Colombiana*. Vol 17. pp. 3-22

Cascante, J.R, Marín, R.M, Pedraza, M.D. (2011). Métodos Mixtos de Investigación. Guía de estudio. Universidad Estatal a Distancia, Institución Benemérita de la educación y la cultura. pp. 10

Clerici, L. (2010). Plastic and polymer materials. *Standarization news*. Recuperado de https://www.astm.org/SNEWS/MA_2010/f4002_ma10.html

Colonna, P. (2010). La química verde. Acribia. España. Zaragoza. pp 502

Cullen, J., Allwood, J. M., Carruth, M. (2012) Sustainable materials, with both eyes open. *UIT Cambridge*. UK. pp 366

Curran, M. A., Hauschild, M. (2015) Guidance on organizational life cycle assessment. United Nations Environment Programme. Berlin. Germany. pp 19

Dellacassa, E., Soule, Cesio.V., Vázquez, A., Echeverry, S., Menéndez, P., Ferreira, F., Heinzen, H. (2007) Yerba mate. Historia, uso y propiedades. Cátedra de Farmacognosia y Productos Naturales, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química. *Grál. Flores* 2124, 11800-Montevideo, Uruguay. pp 1

Denzin, Norman K. (1978) *Sociological Methods a source book*. Routledge. New York, USA. pp 600

Elvin, G. (2015) *Post-Petroleum Design*. Routledge. Great Britain. pp 6

European Commission. (2018) On the impact of the use of oxo-degradable plastic, including oxo-degradable plastic carrier bags, on the environment. Report from the commission to the european parliament and the council. *Brusselas*. Belgica. pp 1- 7

Farndon, J. & Parker, V. (2004) *World History*. Miles Kelly Publishing Ltd. Essex, Russia. pp 40 –

- Feanlco. (2016) Campaña antipitillo. Corporacion Fenalco solidario Colombia. Recuperado de: <https://www.fenalcosolidario.com/noticias/campana-antipitillo>
- García J C. (2007) Manual de identificación, selección y evaluación de oferta de productos forestales no maderables. Instituto Amazonico de Investigaciones científicas. pp. 33
- Gallardo J. (2006) Importancia Etnobotánica de una planta vascular sin semilla en México: Equisetum. Polibotánica. Num 21, pp 61 – 74
- Gibbens, S. (2018) A brief history of how the plastic straws took over the world. National geographic, Recuperado de <https://www.nationalgeographic.com.au/nature/a-brief-history-of-how-plastic-straws-took-over-the-world.aspx>
- Gomez, R. F., Londoño, J. V., Zulma, I. M. (2012) Plantas medicinales del oriente Antioqueño. Universidad de Antioquia. Colombia. Pp 114 - 115
- Green peace. (2016) Plásticos en los océanos: Datos, comparativos e impactos. Green peace España. San Bernardo. pp 1 – 4
- Guillon. J. M. (2004) Phylogeny of Horsetails (Equisetum) based on the Chloroplast rps4 Gene and Adjacent Noncoding Sequences. Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution. Orsay-cedex, France. pp 251
- Hill, A.; Gifre, E. (1965) Botánica Económica. Plantas útiles y productos vegetales. Omnia. Barcelona. España. pp 1 - 616
- Kartar, S., R. A. Milne, y M. Sainsbury. (1973) Polystyrene waste in the Severn Estuary. Mar. Pollut. Bull. 4:144.
- Katz, S. E. (2014) El Arte de la fermentación. Una exploración en profundidad de los conceptos y procesos fermentativos de todo el mundo. Gaia ediciones. Madrid. España. pp 44
- Kramer, K. L. (2012) User experience in the age of sustainability. 1st edition. A practitioners blueprint. Elsevier. USA. pp 155 - 224
- Lavorel Sandra. (2013) Plant functional effects on ecosystem services. Journal of Ecology. pp 101
- Law. E. A. (2000) Aquatic Pollution: an introductory text. John Wiley & sons, Inc. USA. pp 600
- Martinez, C. J. F., Medina, M., Sanchez, A. V. (2017) Fabricacion y comercializacion de mezcladores biodegradables en tiendas especializadas en café en la ciudad de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. pp 1
- Martos. A. (2011) Breve Historia de los Sumerios. Descubra la cuna de la historia, la más antigua civilización del mundo: los primeros ingenieros, matemáticos, médicos, farmacéuticos y astrónomos. La increíble historia de un pueblo pionero en conocimientos y lleno de mitos y misterio. Nowtilus saber. Madrid. España. pp. 232
- Maldonado. A. (2012) La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Universidad Nacional De Colombia.

Facultad de ciencias económicas. Bogotá Colombia

McDonough, W., Braungart, M. (2013) *The upcycle. Beyond Sustainability – Designing for Abundance*. North Point Press. USA. pp 4 - 5

Moore, C., Philips, C. (2011) *Plastic ocean*. Penguin group. Toronto. Canada. pp 36 - 44

Murillo. M.T. (1990) *Helechos y plantas afines de Colombia*. Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No. 2. pp.20

Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., Rilling, M. C. (2018) *Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems*. *Global change Biology*. Germany. pp 1

Mahecha G., Ovalle A., Camelo D., Rozo. A., Barrero D. (2004) *Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanura y montañas*. Bogotá, Colombia.

NEI, (2015) *National emission inventory*. Environmental protection agency. USA. pp 48

North. J. E., Halden. R. U. (2013) *Plastics and Environmental Health: the road Ahead*. *Rev Environ Health*. 28(1):1-8

O'Hara, K.J., S. Iudicello., R. Bierce. (1998) *A citizen's Guide to plastic in the ocean: more than a litter problem*. Center for marine consevation, Washington, D.C 143pp.

Parker, L. (2018) *Plásticos o planeta?, Lo hicimos, dependemos de él, nos ahogamos en él*. National Geographic. Mexico. pp 28

Pauli, G. (2011) *La Economía Azul*. Tusquets editores. España pp 1 - 352

Pulido. M. (2007) *Los helechos y plantas afines de la reserva natural Ranchería Paipa (Boyacá – Colombia)*. UPTC. pp 7

Rincón, O. B. (2010) *Ergonomía y procesos de diseño*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. Pp 141 - 159

Richardson, P. (1974) *Introduction to Extrusion*. Brookfield Center, CT: Society of Plastic Engineers. Recuperado de <http://www.madehow.com/Volume-4/Drinking-Straw.html#ixzz5TADu0nJp>

Rua, A. (2016) *El poder curativo de los alimentos*. Casa editorial EL TIEMPO. Bogotá. Colombia. pp 189

Sebille, E. V. (2016) *The ocean plastic pollution challenge: towards solutions in the UK*. Gratham Institute briefing paper No.19 imperial College. London. pp 1 - 15

Stanley, E. M. (1993) *Fundamentals of environmental chemistry*. CRC press. USA. pp 472 - 481

Stanich. N.A., Rothwell.G.W., Stockey.R.A. (2009) *Phylogenetic diversification of Equisetum (Equisetales) as inferred from lower Cretaceous species of British Columbia, Canada*. *American Journal of Botany*. pp1

Thompson, D. (2011) *The amazing history and strange invention of the bendy straw*. The Atlantic. Recuperado de: <https://www.theatlantic.com/business/archive/2011/11/the-amazing-history-and-the->

strange-invention-of-the-bendy-straw/248923/

Thompson. R. (2009) Plastics, the environment, and human health: current consensus and future trends. *Philos Trans R Soc London B Biological Sciences*. 364 (1526): 2153-2166

Triana. L.A. (2005) Helechos y plantas afines de Albán (Cundinamarca) el bosque subandino y su diversidad. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Ciencias Naturales. pp. 162

Turner. R. G. (1999) *Botanica: the illustrates A-Z of over 10,000 garden plants and how to Cultivate them*. pp 1007

UAESP (2015) Relleno sanitario Doña Juana. Observatorio de salud ambiental. Colombia. Bogotá. pp 1 -10

Valdebenito G., Molina J., Benedetti S., Hormazabal M., Pavez C. (2015) Serie Estudios para la Innovación FIA Modelos de negocios sustentables de recolección, procesamiento y comercialización de Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. Primera edición. Santiago de Chile. pp 22

Velez. H. J. (2016). Empresa de pitillos afectados por campañas que evita su uso. *Revista Dinero*. Colombia, Bogotá. pp. 1

Villalobos. C., Colorado. F., Garza. J., Peña. F. (2011) Manual de Cahuala (*Phlebodium pseudoaureum*). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales-UDCA, Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, D.C. Colombia pp 23

Yanes, J. (2017) Pequeños grandes inventos: la pajita de bebida. *Open mind*. Recuperado de: <https://www.bbvaopenmind.com/pequenos-grandes-inventos-la-pajita-de-bebida/>

Zaman, T. (2010) The prevalence and environmental impact of single use plastic products. Conference proceedings. Rahman. F.A. 2014. Reduce, Reuse, Recycle: Alternatives for Waste Management. NM state University College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences

ANEXOS

10. ANEXOS

Anexo 1: Claves taxonómicas *Equisetum giganteum*

Anexo 2: Norma ASTM ensayos de tensión en plásticos

Anexo 3: Norma Técnica Colombiana 1866

Anexo 4: Protocolo prueba de migración global

Anexo 5: Formato del diseño de la prueba de usabilidad, con encuestas de satisfacción y consentimiento informado

Anexo 6: Videos de las pruebas de usabilidad con usuarios

Anexo 7: Otros

Anexo 8: Métodos de recolección de datos

Anexo 9: Formatos de cuestionarios diligenciados por los participantes de las encuestas