



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES DE  
DESECHO ALTERNATIVOS COMO CAPA DE DRENAJE Y SUSTRATO EN  
CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO - COLOMBIA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR: CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA**

**PROFESOR GUÍA: Dra. CLAUDIA MARCELA MUÑOZ SANGUINETTI**

**CONCEPCIÓN, 31 de julio de 2014**

## Resumen

La investigación tuvo como objeto analizar y evaluar el comportamiento de materiales de desecho como capa de drenaje y sustrato en cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo, se desarrolló experimentalmente en Villavicencio, Colombia, una ciudad tropical con dichas características ambientales y alta pluviosidad, la toma de datos se llevó a cabo entre los meses de febrero y mayo de 2014, iniciando el estudio en el periodo seco y terminando en el mes con mayor pluviosidad histórica. Como capa de drenaje se evaluaron los gránulos de caucho reciclado (GCR) y se diseñaron 4 sustratos en los que se involucraron como materiales de desecho: cascarilla de arroz (CA), cascarilla de arroz tostada (CAT), cuesco de palma africana (cuesco), bobinaza, gallinaza y compost.

Como especie vegetal se utilizó *ArachisPintoi* (maní forrajero), una leguminosa, perenne, rastrera, nativa, resistente, invasora, tolerante a la sequía, de buena adaptación a todo tipo de suelo. El diseño muestral incluyó cuatro repeticiones distribuidas en cuatro bloques en los que utilizó GCR como capa de drenaje, se realizó seguimiento a la cobertura, altura, número de flores, color y poda necesaria, se elaboró un bloque testigo (BT), cuya capa de drenaje consistió en la lámina Sika drenaje 32T, para un total de 20 probetas evaluadas.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el *ArachisPintoi* es una especie vegetal con óptimas condiciones para ser usada como capa vegetal en cubiertas verdes extensivas; las propiedades hidráulicas de los GCR permiten su uso como capa de drenaje en cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo con alta precipitación; la cascarilla de arroz cruda (CA), es un desecho agrícola, que puede aplicarse en la elaboración de sustratos aportando: textura, bajo peso, conductividad hidráulica moderadamente alta, por lo que debiera esperarse su adecuado desempeño dentro de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias por medio de cubiertas verdes.

**Palabras claves:** cubiertas verdes, materiales de desecho, capa de drenaje, sustrato.

## Abstract

This research objective was that of analyzing and evaluating the behavior of waste material as drainage and substrate layer upon extensive green roof in warm-humid weather, it was developed experimentally in Villavicencio, Colombia, a tropical city with such environmental features and high rainfall. The data collection was carried out between February and March of 2014 beginning in the dry season and ending in the month which presented the highest rainfall level historically. As drainage layer it was tested the recycled rubber granules (GCR in Spanish) and 4 different substrates were designed in which different waste materials were included such as: rice chaff (CA), toasted rice chaff (CAT), African palm stone (stone), cow manure, hen manure and compost.

As vegetal specie it was used the *ArachisPintoi* (fodder peanut), a leguminous, perennial, creeping, native, resistant, invading, drought tolerant plant with high adaptation to any kind of soil. The sample design included four repetitions distributed on four blocks in which GCR was used as drainage layer. A cover, height, flower numbers, color and necessary prune track was done. A witness block (BT) was done which drainage layer was on Sika drainage 32T sheet for an overall of 20 trays evaluated.

The gathered results allow us to conclude that the *ArachisPintoi* is a vegetable specie with optimal conditions to be used as vegetable layer upon extensive green roofs; the hydraulic properties of the GCR allows its use as a drainage layer upon extensive green roofs on warm-humid weather with high rainfall levels; the rice chaff (CA) is an agricultural waste that can be applied in the substrate making adding texture, low weight, moderately high hydraulic conductivity from where it can be expected its adequate performance inside a rainfall use system by means of green roofs.

**Keywords:** green roofs, waste materials, drainage layer, substrate.

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Capítulo 1. Introducción .....                             | 1  |
| 1.1 Objetivo general .....                                 | 3  |
| 1.2 Objetivos específicos .....                            | 3  |
| Capítulo 2. Marco Teórico.....                             | 5  |
| 2.1 Analisis Climatológico .....                           | 5  |
| 2.2 Materiales de desecho.....                             | 8  |
| 2.2.1 Cascarilla de Arroz .....                            | 8  |
| 2.2.2 Cascarilla de Arroz Tostada .....                    | 9  |
| 2.2.3 Cuesco de Palma Africana .....                       | 10 |
| 2.2.4 Compost .....  | 11 |
| 2.2.5 Grano de caucho de llanta reciclada (GCR) .....      | 12 |
| 2.3 Cubiertas Verdes .....                                 | 14 |
| 2.3.1 Principales Beneficios .....                         | 15 |
| 2.3.2 Tipos de Cubiertas Verdes .....                      | 17 |
| 2.3.3 Componentes de una cubierta verde .....              | 17 |
| 2.4 Sustrato, definición y principales propiedades.....    | 18 |
| 2.5 Conductividad hidraulica.....                          | 20 |
| Capítulo 3. Aspectos Metodologicos .....                   | 23 |
| 3.1 Diseño Muestral .....                                  | 23 |
| 3.2 Determinación de la Capa de drenaje y su espesor ..... | 24 |
| 3.2.1 Caracterización física del grano de caucho .....     | 25 |
| 3.2.2 Análisis Químico del grano de caucho .....           | 26 |
| 3.2.3 Conductividad Hidráulica del grano de caucho .....   | 27 |
| 3.3 Determinación de la Capa filtrante .....               | 29 |
| 3.4 Diseño y espesor de los Sustratos a evaluar .....      | 29 |
| 3.4.1 Caracterización física de los Sustratos .....        | 31 |
| 3.4.2 Análisis Químico de los Sustratos.....               | 36 |

Índice

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| 3.4.3       | Conductividad Hidráulica de los sustratos .....      | 37 |
| 3.5         | Determinación de la Capa Vegetal .....               | 39 |
| 3.6         | Determinación de la Pendiente .....                  | 40 |
| 3.7         | Determinación de las Variables de estudio .....      | 41 |
| 3.8         | Construcción de las Probetas .....                   | 42 |
| 3.9         | Toma de datos .....                                  | 45 |
| Capítulo 4. | Análisis y Evaluación de Resultados .....            | 47 |
| 4.1         | Desempeño de la capa de drenaje evaluada.....        | 47 |
| 4.2         | Desempeño de los Sustratos evaluados .....           | 49 |
| 4.2.1       | Dificultades en el desarrollo de la evaluación ..... | 49 |
| 4.2.2       | Cobertura de la vegetación .....                     | 53 |
| 4.2.3       | Color y Cantidad de flores .....                     | 55 |
| 4.2.4       | Mantenimiento .....                                  | 58 |
| 4.3         | Limitaciones de la investigación.....                | 60 |
| 4.4         | Validación de resultados .....                       | 61 |
| 4.5         | Futuras líneas de Investigación .....                | 62 |
| 4.6         | Hallazgos de la Investigación .....                  | 62 |
|             | Conclusiones.....                                    | 65 |
|             | Referencias Bibliográficas .....                     | 67 |
|             | Anexos .....   | 71 |

## Lista de Tablas

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1.  | Información Climatológica de Villavicencio .....                                | 6  |
| 3.1.  | Propiedades Físicas de los GCR Objetivos específicos .....                      | 25 |
| 3.2.  | Densidad Aparente de los GCR locales vs investigación de referencia .....       | 26 |
| 3.3.  | Propiedades Químicas de los GCR .....   | 26 |
| 3.4.  | Propiedades Hidráulicas de los GCR.....   | 28 |
| 3.5.  | Porcentaje de suelo y arena para el diseño del sustrato (opción 4) .....        | 30 |
| 3.6.  | Diseño final de los 4 sustratos, porcentaje de sus componentes en Volumen ..... | 31 |
| 3.7.  | Propiedades Físicas de los Sustratos .....                                      | 33 |
| 3.8.  | Serie de Tamices Norma ASTM E-11/95 .....                                       | 33 |
| 3.9.  | Coefficientes de Uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc) de los Sustratos .....       | 34 |
| 3.10. | Resultados químicos de los Sustratos y valores de Referencia .....              | 37 |
| 3.11. | Resultados hidráulicos de los Sustratos y Valores de Referencia .....           | 38 |
| 4.1.  | Comparación resultados químicos iniciales y finales .....                       | 53 |
| 4.2.  | Cuantificación del color para evaluación .....                                  | 56 |

## Lista de Gráficos

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1.  | Datos Pluviométricos mensuales para la ciudad de Villavicencio.....                  | 5  |
| 2.2.  | Rosa de los vientos para la ciudad de Villavicencio .....                            | 6  |
| 2.3.  | Información Climatológica de la ciudad de Villavicencio.....                         | 7  |
| 2.4.  | Precipitación media mensual máxima y mínima en varias ciudades .....                 | 7  |
| 2.5.  | Distribución área sembrada y producción de arroz por departamentos en Colombia ..... | 9  |
| 3.1.  | Distribución de los Sustratos en cada Bloque .....                                   | 24 |
| 3.2.  | Curvas Granulométricas de los Sustratos Vs Curva ideal de Fuller .....               | 35 |
| 3.3.  | Textura de los Sustratos mediante el diagrama triangular .....                       | 36 |
| 3.4.  | Propiedades químicas de los Sustratos.....   | 37 |
| 4.1.  | Precipitación diaria local durante el desarrollo del proyecto .....                  | 47 |
| 4.2.  | Cobertura por Sustratos.....   | 54 |
| 4.3.  | Cobertura por Bloques.....   | 54 |
| 4.4.  | Número de flores por Sustrato .....  | 55 |
| 4.5.  | Número de flores por Bloque .....  | 56 |
| 4.6.  | Clasificación de color por Sustrato .....  | 57 |
| 4.7.  | Clasificación de color por Bloque .....  | 57 |
| 4.8.  | Alturas mínimas por sustrato y por bloque.....                                       | 58 |
| 4.9.  | Alturas máximas por sustrato y por bloque .....                                      | 59 |
| 4.10. | Altura media promedio por sustrato y por bloque .....                                | 59 |
| 4.11. | Peso de las podas realizadas por Sustrato y por Bloque .....                         | 60 |

## Lista de Figuras

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1.  | Cascarilla de arroz (CA) .....   | 8  |
| 2.2.  | Cascarilla de arroz Tostada (CAT).....   | 10 |
| 2.3.  | Cuesco de Palma Africana (cuesco).....   | 11 |
| 2.4.  | Compost elaborado por Bioagropecuaria S.A .....                                  | 11 |
| 2.5.  | Granos de Caucho Reciclado (GCR)Compost elaborado por Bioagropecuaria S.A.....   | 13 |
| 2.6.  | Esquema en corte de una cubierta verde .....                                     | 14 |
| 2.7.  | Esquema del permeámetro de carga constante elaborado.....                        | 20 |
| 3.1.  | Determinación de parámetros hidráulicos de los GCR.....                          | 27 |
| 3.2.  | Instalación del Geotextil NT 1500 sobre capa de drenaje de GCR.....              | 29 |
| 3.3.  | Esquema de una muestra de suelo y símbolos usados .....                          | 31 |
| 3.4.  | Especies vegetales estudiadas .....  | 39 |
| 3.5.  | Dimensiones de los recipientes usados para la construcción de las probetas.....  | 42 |
| 3.6.  | Perforaciones realizadas a las probetas para evacuación del agua .....           | 43 |
| 3.7.  | Distribución de las probetas en los 5 bloques.....                               | 43 |
| 3.8.  | Instalación lamina Sika drenaje 32T en el bloque T .....                         | 44 |
| 3.9.  | Construcción de probetas .....   | 44 |
| 3.10. | Instalación del Arachis Pintoí como material vegetativo.....                     | 44 |
| 4.1.  | Matriz Bloques Vs Tiempo.....  | 48 |
| 4.2.  | Germinación de semillas de arroz en el sustrato S1 .....                         | 50 |
| 4.3.  | Disminución de humedad en los sustratos por baja precipitación .....             | 50 |
| 4.4.  | Parámetros iniciales para la evaluación de la cobertura .....                    | 51 |
| 4.5.  | Resultados incoherentes de la evaluación cuando se presenta alta cobertura ..... | 51 |
| 4.6.  | Resultados cambiando la definición con alta cobertura.....                       | 52 |
| 4.7.  | Estado de la cobertura vegetal antes y después de la intoxicación.....           | 52 |
| 4.8.  | Recuperación de la cobertura después de la intoxicación.....                     | 61 |

## Capítulo 1. Introducción

La actividad humana y el proceso de urbanización, involucra la transformación del suelo natural o rural a suelo urbano, causando diversos impactos sobre la estructura, función y dinámica de los ecosistemas (Vidal Ma. Eugenia 2011), los procesos industrializados, emiten grandes cantidades gases efecto invernadero (GEI) a la atmosfera, el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es el GEI antropógeno más importante, sus concentraciones han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido, en primer lugar a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, en segundo lugar a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo (IPCC2013), todo esto conlleva al calentamiento global, ocasionando: el derretimiento de los polos, cambio en los patrones de las precipitación, emigración y/o extinción de especies, aumento del nivel del mar, inundaciones, sequías, entre otros. Es por esto que a nivel mundial, en todas las áreas del conocimiento, ha venido surgiendo una concientización sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, a la que el campo de la construcción no es ajena, la “Construcción verde” tiene como objetivo desarrollar prácticas de construcción que contribuyan con el ahorro energético, la reducción de las emisiones y la reutilización y reciclado de materiales, estos conceptos se manejan en diferentes aplicaciones de construcción, como es el caso de las cubiertas verdes, (Bianchini, Hewage 2012).

Las cubiertas verdes son reconocidas por sus amplios beneficios ambientales, entre los que se cuenta: mejoramiento del confort térmico y acústico al interior de las edificaciones, mejoramiento de la calidad del aire, retención y purificación de agua lluvia, disminución del CO<sub>2</sub>, disminución del efecto isla de calor, creación de micro hábitat para plantas y animales, entre otros;(Villa et al. 2012), (Ibáñez 2008),(Minke 1992), sin embargo su desventaja radica en el mayor costo que implica en comparación con una cubierta convencional, estos costos son debidos a la instalación en alturas y al aumento de peso a la estructura, lo cual implica un cambio o reforzamiento estructural, (Bianchini, Hewage 2012).

Las cubiertas verdes, se clasifican en intensivas y extensivas, las intensivas, están conformadas por vegetación ornamental que requiere mantenimiento continuo, mayor espesor de sustrato y por ende es más pesada, según su espesor y componentes, su peso puede estar entre 150 y 350 Kg/m<sup>2</sup>, mientras que las extensivas, son cubiertas que requieren mínimo mantenimiento, menor espesor del sustrato y son más livianas, según su espesor y componentes, su peso varía entre 80 y

## Introducción

150 Kg/m<sup>2</sup>. Cualquiera de los dos tipos de cubiertas verdes que se vaya a emplear, requiere una evaluación estructural debido al aumento de las cargas vivas y muertas en la cubierta.

Aunque la implementación de cubiertas verdes en un proyecto constructivo, implique un incremento en los costos iniciales, debidos no solo al reforzamiento estructural, sino a el montaje del sistema, esto no debe ser motivo para no implementarlas, ya que todo proyecto, debe ser evaluado en su ciclo de vida, es decir es necesario realizarle un balance ambiental, evaluando los impactos ambientales de todas las etapas de su existencia. Algunos investigadores, han realizado avances en los impactos ambientales que trae la implementación de sistemas de cubiertas verdes y han establecido beneficios en comparación con otros tipos de cubiertas, en cuanto a: reducción de la demanda de energía, retraso de la escorrentía de aguas lluvias (Teemusk, Mander 2007) disminución de la contaminación del aire (Jun et al, 2008), en general se ha encontrado que los techos verdes son inversiones a largo plazo con rendimientos a corto plazo, además de ser inversiones de bajo riesgo, con beneficios económicos y sociales (Bianchini 2012). La presente investigación se centró en las cubiertas verdes extensivas, por ser las que presentan menor peso por metro cuadrado, con el fin de promover su implementación y uso, con un mínimo de implicaciones de reforzamiento estructural.

En países desarrollados se han logrado grandes avances tecnológicos que garantizan una adecuada y segura implementación del sistema de cubiertas verdes, constituidos principalmente por fibras sintéticas como: polipropileno, polietileno y poliéster (Villa et al. 2012), las cuales han reducido el peso de las cubiertas y permitido la industrialización de las mismas, sin embargo el proceso de fabricación de estas fibras presentan altos impactos negativos al medio ambiente, (Bianchini, Hewage 2012). Lo que hace necesario ahondar en la implementación del sistema, teniendo como base materiales más ecológicos y sostenibles; bajo esta preocupación se han venido adelantando diferentes investigaciones, tendientes a buscar materiales alternativos a los ofrecidos comercialmente, es el caso del estudio adelantado en la Universidad Royal Holloway de Londres, por Molineux, Fentiman y Gange, (2009), donde encontraron que a partir de materiales locales de desecho, como la arcilla, lodos de aguas residuales, ceniza de papel reciclado, y gránulos de piedra caliza, podrían encontrar resultados similares a los del ladrillo rojo triturado, que es la base del sustrato estándar usado en la industria del reino unido, o la investigación adelantada en España, desde la Universidad de Lleida, por Pérez, Villa, Rincón, Solé y Cabeza, (2012), que estableció que

es posible el uso de migas de caucho reciclado (proveniente de neumáticos), como material de capa de drenaje en techos verdes extensivos.

Sin embargo y a pesar de sus múltiples beneficios, la investigación e implementación de cubiertas verdes, en países tropicales como Colombia, es todavía muy incipiente, *“aun en nuestro país tenemos todo el camino por recorrer en el desarrollo local de estos sistemas. La paleta de alternativas de investigación comprende los tres componentes básicos del sistema: Materiales y mezclas para el sustrato, sistemas de drenaje y especies vegetales locales”* (Ibáñez 2008). La principal causa de su baja utilización, es el desconocimiento del comportamiento del sistema, bajo condiciones climatológicas específicas. Esta investigación, se desarrolló con el fin de analizar el comportamiento y evaluar el desempeño de materiales de desecho propios del clima cálido húmedo, como parte del sustrato y capa de drenaje en cubiertas verdes extensivas, bajo las condiciones climatológicas naturales.

Por lo anterior se establece la siguiente hipótesis: El uso de materiales de desecho alternativo en el sustrato y la capa de drenaje en cubiertas verdes extensivas, permite un desarrollo adecuado de la vegetación, en cuanto a su cobertura, aspecto físico y mantenimiento, siendo una alternativa viable que permite incentivar este sistema de cubierta y sus múltiples beneficios ambientales en ciudades con clima cálido húmedo.

### **1.1. Objetivo general**

Analizar y evaluar el comportamiento de materiales de desecho alternativos como capa de drenaje y sustrato en cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo en la ciudad de Villavicencio – Colombia.

### **1.2. Objetivos específicos**

- 1.2.1. Identificar diferentes materiales de desecho que puedan ser usados como sustrato y capa de drenaje en clima cálido húmedo.
- 1.2.2. Seleccionar el tipo de especie vegetal, que cumpla con las características necesarias de adaptabilidad para ser usada en cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo.

Introducción

- 1.2.3. Diseñar y evaluar las características físicas, químicas e hidráulicas de cuatro sustratos utilizando los materiales de desechos seleccionados.
- 1.2.4. Analizar y evaluar el comportamiento hidráulico del material de desecho seleccionado como capa de drenaje bajo las condiciones climatológicas de una ciudad cálida húmeda.
- 1.2.5. Analizar y evaluar experimentalmente, el desarrollo de la vegetación en los sustratos diseñados.

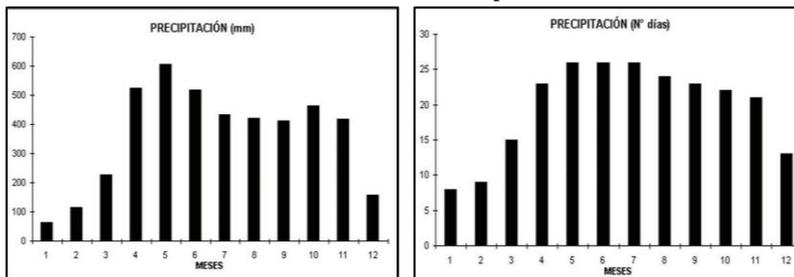
## Capítulo 2. Marco Teórico

En algunos países, las cubiertas verdes son de uso común, sin embargo, en Colombia es un concepto nuevo al que no toda la población tiene acceso; el común de la población conoce y emplea las cubiertas compuestas por perfiles metálicos sobre los cuales se instalan tejas de fibrocemento o tejas plásticas, por lo general no se utiliza aislamiento térmico y dependiendo del estrato socio – económico, debajo de las correas o perfiles, se instala un cielo – raso, el cual varía de material, que puede ser en madera, drywall, pvc (policloruro de vinilo), eps (poliestirenoexpandido) entre otros. Lo que introducir un concepto nuevo, requiere disipar preguntas como: ¿Qué es una cubierta verde?, ¿Qué beneficios trae su uso?, ¿Cuál es el peso de este sistema?, ¿Qué implicaciones trae a la estructura?, ¿Qué materiales requiere?, ¿Es posible su uso en clima cálido húmedo?.

### 2.1. Análisis Climatológico

El estudio se llevó a cabo en Villavicencio, capital del Departamento del Meta, Colombia, ubicada a dos horas de Bogotá D.C., esta ciudad se encuentra localizada en el piedemonte de la cordillera oriental, en la zona de confluencia intertropical (ZCIT), presenta un régimen de lluvias monomodal que se inicia en el mes de abril y se prolonga hasta el mes de noviembre, en el que se presentan el 90% del total de las lluvias del año y un periodo seco influenciado por los vientos Alisios del noreste, comprendido entre los meses de diciembre a marzo. De acuerdo al IDEAM<sup>1</sup>, Villavicencio, se clasifica con clima cálido húmedo, (IDEAM 2005).

**Gráfico 2.1: Datos Pluviométricos mensuales para la ciudad de Villavicencio**



Fuente: IDEAM, link: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/villao/precipitacion.htm>

<sup>1</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Republica de Colombia.

En la gráfica 2.1, tomada del IDEAM, se observan la precipitación mensual en milímetros y el número de días al mes con presencia de lluvias.

De acuerdo a la información obtenida del Servicio de Información meteorológica mundial, se elaboró la tabla 2.1, con datos históricos de 30 años, se establece que la precipitación anual promedio es de 4406mm, siendo enero el mes con menor precipitación (64mm) y mayo el mes con la mayor precipitación (627mm).

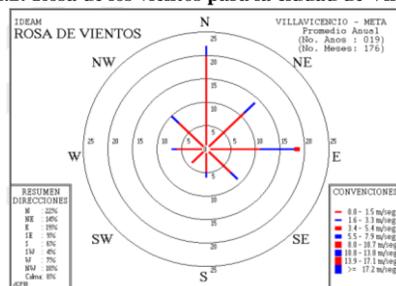
**Tabla 2.1: Información Climatológica de Villavicencio**

| MES                             | MEDIA DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DIARIAS (C°) | MEDIA DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS (C°) | MEDIA DEL NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA | PRECIPITACIÓN TOTAL MEDIA (mm) |
|---------------------------------|--|--|------------------------------------|--------------------------------|
| Ene                             | 21.0   | 31.1   | 8                                  | 64                             |
| Feb                             | 21.6   | 31.4   | 10                                 | 129                            |
| Mar                             | 22.0   | 30.9   | 15                                 | 227                            |
| Abr                             | 21.2   | 29.9   | 23                                 | 526                            |
| May                             | 21.0   | 29.3   | 27                                 | 627                            |
| Jun                             | 20.5   | 28.4   | 27                                 | 522                            |
| Jul                             | 20.2   | 38.2   | 27                                 | 442                            |
| Ago                             | 20.3   | 39.1   | 24                                 | 419                            |
| Sep                             | 20.4   | 30.1   | 22                                 | 403                            |
| Oct                             | 20.7   | 30.1   | 22                                 | 476                            |
| Nov                             | 20.9   | 30.1   | 21                                 | 413                            |
| Dic                             | 20.7   | 30.3   | 14                                 | 158                            |
| PRECIPITACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL |  |  |                                    | 4406                           |

Fuente: Elaboración propia a partir del SIMM (servicio de información meteorológica mundial), junio 2014, link: <http://wwis.aemet.es/es/city.html?cityId=890>

La velocidad del viento es baja, oscila entre 0 y 5,4m/seg., los vientos provienen principalmente del Norte en un 22%, del Este en un 19% y del Noreste en un 14%, presentándose las mayores velocidades en dirección este, tal y como se puede apreciar en la gráfica 2.2.

**Gráfico 2.2: Rosa de los vientos para la ciudad de Villavicencio**



Fuente: IDEAM, link: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

Villavicencio presenta como media de las temperaturas máximas diarias 39.1°C y como media de las temperaturas mínimas diarias 20.2 °C, como se aprecia en la gráfica 2.3; la humedad relativa promedio es del 77%.

**Grafico 2.3: Información Climatológica de la ciudad de Villavicencio**

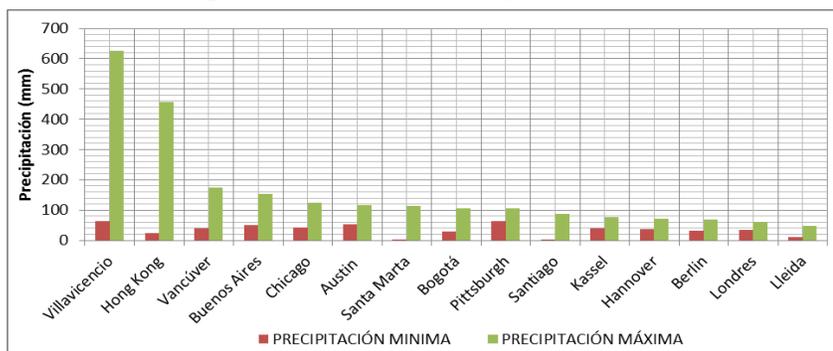


Fuente: Servicio de información meteorológica mundial, información tomada el 24 de junio de 2014  
 link: <http://wwis.aemet.es/es/city.html?cityId=890>

Código de campo cambiado

Con la información recopilada del Servicio de Información Meteorológica Mundial, se elaboró el gráfico 2.4, en la que se puede apreciar claramente la alta pluviosidad que presenta la ciudad de Villavicencio, en comparación a otras ciudades a nivel mundial en las que se han desarrollado investigaciones y construcción de cubiertas verdes, esto genera la necesidad de buscar un material con alta conductividad hidráulica y baja degradación como capa de drenaje, que evacúe rápidamente el agua sobrante en el sustrato y evite la pudrición de las raíces .

**Grafico 2.4: Precipitación media mensual máxima y mínima en varias ciudades.**



Fuente: Elaboración propia a partir del SIMM, junio 2014

## 2.2. Materiales de Desecho

Se denomina material de desecho a aquel que ya no sirve para un fin práctico, los materiales de desecho pueden ser orgánicos o inorgánicos. El empleo de materiales de desecho locales aumenta los beneficios ambientales de las cubiertas verdes. Este proyecto investigativo se desarrolló en una ciudad con clima cálido húmedo, por tanto se buscó el uso de residuos agrícolas típicos para este clima, uno de los principales cultivos en zonas tropicales húmedas es el arroz, y en los últimos años se ha incrementado el cultivo de la palma africana, por lo cual se estudiaron los subproductos de estos dos cultivos y se buscó la integración de sus estos desechos en la elaboración de los sustratos.

**2.2.1. Cascarilla de Arroz:** La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, es el desecho agroindustrial producido en el proceso de molienda o trilla del arroz, es de color amarillento, como se puede apreciar en la figura 2.1. Por cada grano de arroz se genera una cascarilla, por cada 5 toneladas de arroz, se genera 1 tonelada de cascarilla.

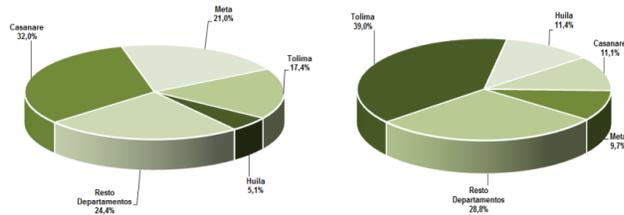


**Figura 2.1: Cascarilla de arroz (CA)**

El departamento del Meta es uno de los principales productores de arroz en Colombia, por lo que en esta región se acumulan grandes volúmenes de este desecho agroindustrial, generando un foco de contaminación, debido a su baja degradabilidad natural.

Como se aprecia en el gráfico 2.5., presentado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y la Federación Nacional de Arroceros de Colombia FEDEARROZ, en el año 2013, el departamento del Meta fue el segundo con mayor área sembrada de arroz, con el 21%, generando grandes cantidades de cascarilla de arroz, que por su baja densidad se acumula en grandes volúmenes.

**Gráfico 2.5: Distribución área sembrada y producción de arroz por departamentos en Colombia**



Fuente: Convenio DANE – FEDEARROZ

Fuente: Convenio DANE - FEDEARROZ

Fuente: Encuesta Nacional de Arroz mecanizado, primer semestre de 2013, Convenio DANE – FEDEARROZ.

Buscando mitigar el volumen de este subproducto agrícola, se está comercializando comprimida, no obstante, la gran cantidad de cascarilla de arroz que se produce en este tipo de clima, ha incentivado la investigación de su uso en diferentes campos, buscando dar un adecuado aprovechamiento a este residuo agrícola. Entre sus principales propiedades se encuentra su baja degradabilidad natural, bajo peso específico, buen drenaje, temperatura de fusión relativamente alta (alrededor de 1500°C) y alto contenido de sílice.

Valverde, Sarria y Monteagudo (2007), en su análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, concluyen que existe una igualdad entre los rangos de estas características para regiones distantes y diferentes como China, Canadá, Estados Unidos y Colombia.

**2.2.2. Cascarilla de Arroz Tostada:** Se obtiene al someter la cascarilla de arroz a un proceso de combustión o quemado. En Colombia se utiliza la cascarilla de diferentes maneras: cruda, semitostada o con diferentes porcentajes de tostado, desde la década de 1990 los cultivos de clavel en la Sabana de Bogotá se realizan con sustratos diferentes al suelo, el sustrato más usado es la cascarilla de arroz tostada (Quintero C., Guzmán J., Valenzuela J., 2012), estos investigadores, preocupados por la contaminación ambiental que genera el quemado de las cascarilla, el riesgo de escasez y el aumento de su costo, adelantaron estudios, con el fin de encontrar materiales alternativos a la Cascarilla de Arroz Tostada

(CAT), como sustrato, esta investigación fue adelantada desde la Universidad de Almería (España), el estudio se centró en el desarrollo del miniclavel, cultivado en diferentes sustratos, encontrando que la CAT, sigue siendo una alternativa sanitaria, de productividad y económicamente viable para la producción de miniclavel en la sabana de Bogotá.

Una de las principales fuentes de CAT, de los floricultores de la sabana de Bogotá, proviene del departamento del Meta, específicamente de los molinos ubicados en la ciudad de Villavicencio, quienes producen Cascarilla de Arroz (CA) y la Cascarilla de Arroz Tostada (CAT), a diferentes porcentajes que varían entre el 75% y el 95%. Para el presente trabajo investigativo, se utilizó CAT al 90%, por ser la de mayor demanda; tal y como se observa en la figura 2.2, es de color café oscuro, debido al proceso al que ha sido sometida y presenta residuos de ceniza.



Figura 2.2: Cascarilla de arroz Tostada (CAT)

**2.2.3. Cuesco de Palma Africana:** Es un subproducto de las plantas procesadoras de aceite de palma africana, el cuesco o endocarpio, corresponde a la parte externa de la semilla o nuez, es duro y protege la parte interna de la semilla, denominada almendra; alrededor del cuesco se encuentra la pulpa del fruto o mesocarpio, la cual es carnosa y de color anaranjado, con un alto contenido de aceite. La palma es originaria del África Ecuatorial, razón por la cual recibe su nombre. Es un cultivo de alta adaptabilidad, por lo que actualmente se cultiva en varios países de cuatro continentes en más de 6,5 millones de hectáreas, fue introducida a Colombia en 1932, la mayor área cultivada se encuentra en los departamentos de Meta, Cesar y Magdalena, así mismo, es importante destacar que en el Meta, se incrementó de 29.264 ha. registradas en el año 1991, a 59.857 ha. en el 2003,

aumentando su volumen de producción en 72.9%. debido a esto, las plantas procesadoras buscan solución a que hacer o donde depositar este desecho diario.

El cuesco o cáscara de la semilla, como puede apreciarse en la figura 2.3, es de color café, de alta dureza y poco peso, por lo que es comúnmente usado en las vías y como productor de energía en las mismas plantas procesadoras, sin embargo debido a su alta producción se han desarrollado diferentes investigaciones encaminadas a encontrar alternativas para su aprovechamiento, entre otras se encuentra la fabricación de carbón activado para filtros purificadores de agua, el uso del cuesco como material agregado en la fabricación de adoquines, el uso de la ceniza como aditivo para morteros y concretos, entre otras, sin embargo la mayor parte del cuesco es usado para producir energía mediante su quema.



Figura 2.3: Cuesco de Palma Africana (cuesco)

**2.2.4. Compost:** se denomina compost, compostaje o abono orgánico, al producto generado al aplicar una técnica acelerada de transformación de residuos orgánicos, logrando un grado medio de descomposición, es un material suelto, granular, de color café oscuro, como se puede observar en la figura 2.4; cuando la materia alcanza un grado alto de descomposición, se denomina humus.



Figura 2.4: Compost elaborado por Bioagricola S.A.

El compost se agrega a la tierra y se va incorporando poco a poco al humus, logrando un suelo más fértil, de ahí su nombre de abono orgánico. Esta técnica está basada en un proceso biológico, que se realiza en condiciones aeróbicas (con presencia de aire) y de humedad, que aseguran la transformación higiénica de los restos orgánicos.

En la descomposición de los residuos orgánicos, intervienen microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos, la gama de productos que pueden formar parte del compost es muy amplia, entre los principales materiales se encuentran: podas de jardín, estiércol, ramas trituradas, hojas secas, restos de comidas, plantas, restos de café y té, cáscaras de frutos, etc.; se debe evitar el uso de cítricos y restos de carnes, nunca se deben añadir materiales químicos o sintéticos, materiales no biodegradables, aglomerados, tabaco o detergentes.

En todas las técnicas de compostaje, se debe guardar especial cuidado cinco condiciones: la relación C/N (Carbono/Nitrógeno), la cual se establece entre 25/1 y 60/1; el PH (determina la acidez o alcalinidad del compost); la humedad, debe procurarse una humedad entre el 30% y el 80%, el exceso de humedad produce compactación, falta de aireación y putrefacción, mientras la falta de humedad desacelera el proceso de descomposición; la aireación, la garantía de un buen compost está en que se produzca en condiciones aeróbicas, y por último la temperatura, si se cumplen las condiciones ya mencionadas y los microorganismos inician el proceso de descomposición, la temperatura del compost se elevará hasta los 70°C, aunque a partir de los 65°C, comienzan a morir gran cantidad de bacterias y microorganismos.

**2.2.5. Grano de caucho de llanta reciclada (GCR):** También llamado miga de caucho, es el producto granulado obtenido del reciclaje de llantas. Las llantas de manera general están compuestas de tres (3) materiales: alambres de acero, elastómeros y fibras textiles; la descomposición de las llantas en sus tres componentes principales se logra a través de diferentes procesos mecánicos, realizados con diferentes maquinarias: a) La Destalonadora, que se encarga de extraer el anillo de alambres de acero que se encuentran en el interior (talón) de la llanta de camión. b) Trituradora primaria, que se encarga de la primera trituración de la llanta, dando como resultado grandes trozos de llantas de tamaño no uniforme. c) Trituradora secundaria, esta máquina reduce los trozos

de las llantas provenientes de la primera fase, en pedazos aún más pequeños. d) Granulador primario, se encarga de granular los pedazos provenientes del triturador secundario, la dimensión de los granos que se logran obtener es de 16 mm de diámetro. e) Granulador secundario: se encarga de la refinación y selección del grano, la selección se hace a partir de una criba rotativa que es alimentada por un tornillo sin fin o tornillo de Arquímedes y tiene 3 parrillas con 3 diferentes tamaños de orificios con diámetros que van de 1 a 7 mm.

El producto final es un grano de color oscuro, como se puede observar en la figura 2.5, de gran durabilidad, insoluble, proporciona aislamiento térmico y acústico, permeable y que a su vez permite conservar la humedad.



**Figura 2.5: Granos de Caucho Reciclado (GCR).**

El crecimiento del parque automotor, ha traído consigo la generación día a día de millones de llantas en desuso, lo cual se traduce en una problemática ambiental y de salubridad, debido a varias circunstancias:

- Si las llantas son simplemente enviadas a los botaderos o rellenos sanitarios, ocupan grandes volúmenes, donde la dificultad de su compactación, se traduce en un incremento de costos.
- Si se apilan y se dejan a la intemperie, se convierten en un foco de proliferación de vectores como el zancudo *Aedes Aegypti*, transmisor del Dengue y la fiebre amarilla. Aunado a esto, el apilamiento en grandes cantidades, además de producir problemas de salud pública y daños ambientales, genera problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir.

- Si se usan con fines energéticos, (generalmente en hornos que no cuentan con filtros y tecnología de control adecuada) generan emisiones de sustancias tóxicas, como dioxinas, mercurio, hidrocarburos poliaromáticos (HPA) y metales pesados como plomo, zinc, níquel y vanadio, aumentando el daño a la capa de ozono.

Por lo anterior, el reciclado de llantas en desuso, surge para dar solución a una serie de problemas ambientales, y encontrar alternativas de uso a los Granos de Caucho Reciclado (GCR). En España, ya se han adelantado investigaciones en las que se involucran los GCR como capa de drenaje en cubiertas verdes.

### 2.3. Cubiertas Verdes

Se denomina cubierta verde, azotea verde o techo verde, a un sistema de cubierta o techumbre que está diseñado para albergar especies vegetales, el sistema está compuesto por diferentes capas, como puede observarse en la figura 2.6, donde se representa un esquema general de un sistema de cubierta verde, la primera capa de abajo hacia arriba, es de soporte, la cual por lo general se trata de una placa en hormigón armado, sobre la cual se instala una membrana impermeabilizante, una capa de drenaje, un sustrato y vegetación, estas capas pueden aumentar de acuerdo a las necesidades y condiciones que se deseen establecer, entre las capas opcionales se encuentran: capa filtrante, capa absorbente, barrera antirraíces, entre otras.

Los sistemas de cubiertas verdes generan múltiples beneficios ambientales en comparación a un sistema de cubierta convencional, sin embargo implican un aumento de peso y un aumento en los costos iniciales del proyecto, no obstante, bajo un análisis del ciclo de vida de cubiertas verdes, se han establecido beneficios económicos.

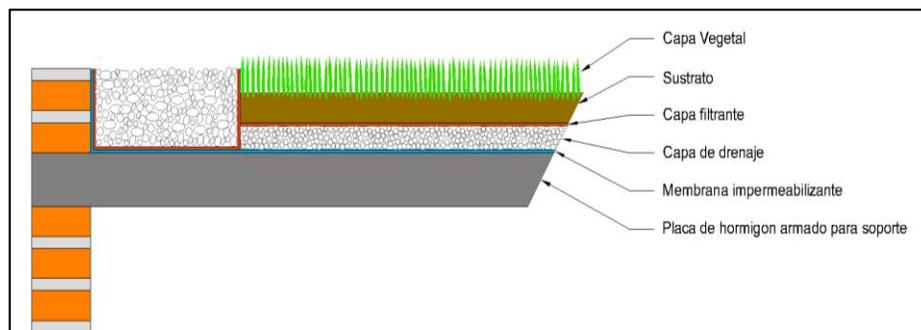


Figura 2.6: Esquema en corte de una cubierta verde

**2.3.1. Principales Beneficios:** Los beneficios ambientales que se pueden obtener de una cubierta verde, dependen en gran parte de sus características como lo son el tipo de vegetación que se instale, el espesor del sustrato, el espesor de la capa de drenaje, entre otros pero a nivel general se pueden establecer los siguientes beneficios:

. **Disminución de la escorrentía superficial:** Con el desarrollo urbano se aumenta la superficie impermeable en las ciudades, ocasionando una menor infiltración de las aguas lluvias en el terreno natural y aumento del agua de escorrentía la cual tiene como destino final el sistema de alcantarillado. La capacidad de retención de agua que tienen las cubiertas verdes, contribuye a la disminución de agua de escorrentía que entra al sistema de alcantarillado, así mismo, el drenaje del agua lluvia a través de la cubierta verde, permite al sistema de alcantarillado tener el tiempo suficiente para transportar la escorrentía al emisario final, lo que reduce el riesgo de inundaciones, (Bianchini, Hewage 2012).

. **Prolongación de la vida útil de la cubierta:** Cuando una cubierta se encuentra expuesta a las fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, se genera en ella dilataciones y contracciones, que dependen del coeficiente de dilatación térmica del material, la longitud y la variación de temperatura, estas fluctuaciones o cambios en la longitud, hacen que aparezcan fuerzas internas que los contrarresten, generando esfuerzos que reducen la vida útil de la cubierta, sin embargo en las cubiertas verdes, los rayos solares no son absorbidos directamente por la placa de hormigón, sino por la cobertura vegetal, disminuyendo los esfuerzos y aumentando así la vida útil de la cubierta. Minke (1992), sostiene que en el segundo informe de daños en la construcción de Alemania, se establece que el 80% de los techos planos presentan los primeros daños después de 5 años de construidos, mientras que un techo verde con una correcta elección de impermeabilización y una buena ejecución de las uniones, tiene una vida útil casi interminable.

. **Actúa como aislamiento térmico y acústico:** Las cubiertas verdes actúan como un aislante térmico y acústico para el interior de las edificaciones, reduciendo el flujo de calor y sonido a través del techo, este beneficio ha sido ampliamente estudiado, así como las

variable que influyen en el mismo, desde el inicio se ha establecido que la reducción va directamente relacionada con las características de la capa vegetal y del sustrato, como son: el índice de área foliar, las características geométricas del follaje y la densidad, el espesor y contenido de humedad del sustrato (Palomo Del Barrio, 1998), en los últimos estudios se han establecido otra serie de parámetros que también influyen como lo son: el espesor de aislamiento de los edificios, la zona climática, el enfriamiento causado por la evaporación del sustrato, la transpiración de la vegetación y las sombras en el techo debido a la capa de follaje (Ouldoukhitine, Belarbi y Marinero 2014), los resultados de los estudios adelantados en la Rochelle, Francia por estos investigadores, establecieron que el impacto de la transferencia de calor a través de un techo verde es diferente al encontrado en un techo convencional, los perfiles de la temperatura cambian de manera significativa debido a la presencia de vegetación y suelo en el techo y permanecen más estables, es decir fluctúan menos que en un techo convencional, aumentando así su durabilidad. La cubierta verde al comportarse como un aislante térmico genera un menor consumo de energía por calefacción y enfriamiento, siendo más relevante en verano.

. **Mejora la calidad del aire:** La vegetación que se instala en la cubierta, toma y absorbe el CO<sub>2</sub> del aire, y produce y libera oxígeno, mediante el proceso de fotosíntesis (Minke G. 1992), es por esto que las cubiertas verdes mejoran la calidad del aire, esto se convierte en un beneficio tanto propio como un beneficio comunitario.

. **Reduce el efecto isla de calor:** El efecto isla de calor es el aumento de la temperatura en las zonas urbanas, con respecto a las zonas rurales, esto se debe a varias razones entre ellas están: la sustitución de superficies vegetales por superficies impermeables como edificios, calles, andenes, etc., la capacidad de absorción de los materiales de acabado de las construcciones, el calor generado por las fuentes antropogénicas como las industrias, vehículos, edificios, la contaminación ambiental; las cubiertas verdes reducen este efecto, por dos principios la evapotranspiración y el aumento del albedo de la ciudad; la cobertura vegetal instalada aumenta el albedo o porcentaje de radiación que una superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre sí misma, en otras palabras la cobertura vegetal absorbe menos radiación que los materiales comunes de construcción, lo que disminuye la temperatura de la ciudad; por otra parte se encuentra la evapotranspiración, que es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de

agua por transpiración de la vegetación, lo que igualmente genera una disminución de la temperatura local.

**2.3.2. Tipos de Cubiertas Verdes:** Las cubiertas verdes se clasifican de acuerdo a su espesor en dos tipos, las cubiertas verdes extensivas y las cubiertas verdes intensivas.

. **Cubiertas verdes Extensivas:** Las cubiertas verdes extensivas, están diseñadas para albergar especies de adaptación sencilla que pueden desarrollarse en sustratos de poco espesor, entre 3 y 15 cm, se suele utilizar como cobertura vegetal, especies de musgos, suculentas, hierbas, pastos, en general plantas con una buena capacidad de regeneración, que puedan sobrevivir con poco mantenimiento y que sean resistentes a las sequías y heladas. Estas cubiertas son por lo tanto livianas de entre  $80 \text{ kg/m}^2$  y  $150 \text{ kg/m}^2$ , y no requieren un reformamiento sustancial de la estructura.

. **Cubiertas verdes Intensivas:** Las cubiertas verdes intensivas, permiten la implantación de especies vegetales de diferentes tamaños, incluso pueden estar diseñadas para albergar árboles, por tal motivo tiene unos requerimientos especiales en el espesor de sustrato, mantenimiento y suministro de nutrientes, entre otros. Por lo general se diseñan para permitir actividades humanas, son generalmente usadas como zona de recreación y esparcimiento. Estas cubiertas requieren de mayor espesor de sustrato, que va desde 15 cm, hasta la necesidad específica de la especie vegetal que se implante, lo que genera un mayor peso que va desde  $150 \text{ kg/m}^2$  en adelante, esto implica reformamiento de la estructura.

**2.3.3. Componentes de una cubierta verde:** Las cubiertas verdes tienen unos componentes básicos e indispensables y otros que son opcionales, dependiendo de los beneficios que se quieran obtener, los principales componentes de una cubierta verde son:

. **Membrana Impermeabilizante:** Sirve para impermeabilizar la base de la cubierta, que generalmente es una placa de hormigón armado, impidiendo el paso de la humedad al interior de la vivienda o edificación, existen varios tipos de membranas, algunas a su vez son antirraíces, si no cumplen la doble función y se quiere garantizar una buena durabilidad, es necesario agregar a la cubierta una barrera antirraíces.

. **Capa de Drenaje:** La capa de drenaje de la cubierta verde, permite que el exceso de agua, se mueva libremente hacia fuera de la cubierta, disminuye el riesgo de fugas de agua, quita el peso del agua de exceso, (Bianchini, Hewage 2012). El exceso de agua dentro de un cultivo, puede ocasionar la reducción o eliminación del espacio aireado del suelo, evitando la entrada de oxígeno atmosférico hacia las raíces, lo que genera restricción de la respiración de las raíces, problemas de crecimiento, limitación del intercambio gaseoso al no permitir la salida del bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y muerte de la planta por asfixia, (Leiton 1985).

. **Sustrato:** Es el medio o soporte físico para las plantas, además proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo de la vegetación, debe ser permeable y a su vez tener la capacidad de retener el agua (Villa et al. 2012). En el numeral 2.4 del presente informe se amplía el estudio de este componente.

. **Vegetación:** Es la capa que le da el nombre de “cubierta verde”, son las plantas que se instalan en la parte superior, en función de ellas se diseñan los espesores y características de las demás capas que componen el sistema.

#### **2.4. Sustrato, definición y principales propiedades**

Como ya se había establecido, se denomina sustrato al medio que proporciona el soporte físico para las plantas, se diferencia del suelo natural, ya que se encuentra en una maceta o contenedor, en el caso de las cubiertas verdes extensivas, es una capa de poco espesor, que debe tener ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas, que permitan el adecuado desarrollo de las plantas. Un sustrato debe tener el suficiente contenido de agua, aire y nutrientes que necesitan las plantas, ya que las raíces no podrán profundizarse fuera del contenedor para hallar lo que no se encuentra en él; por otra parte el sustrato debe ser lo suficientemente permeable, para permitir que el agua de exceso se drene a través de él y evitar el encharcamiento, ya que esto ocasiona la pudrición de las raíces.

Para lograr un buen sustrato, es necesario revisar los principios de la edafología, que es la ciencia que considera al suelo como el soporte para las plantas, es decir, estudia el suelo desde el punto

de vista netamente práctico, orientado a obtener los mejores rendimientos agropecuarios posibles, (Jaramillo, 2002).

La edafología, ha determinado que a mayor temperatura del medio ambiente, el contenido de materia orgánica y de Nitrógeno en el suelo disminuye drásticamente, debido a esto, generalmente, se encuentran menores contenidos de estos componentes en climas cálidos que en climas fríos. (Jaramillo 2002), por lo tanto, es necesario que al realizar el diseño de los sustratos, se evalúen sus componentes químicos, y de ser necesario se adicione un tipo de compost que mejore las condiciones nutritivas del mismo. En la elaboración del sustrato, es necesario evaluar la homogeneidad o heterogeneidad con que se presentan los diferentes grupos de tamaños de agregados, esto se logra mediante una revisión de su granulometría; es deseable que un alto porcentaje de los componentes, corresponda a un rango de tamaños relativamente grandes, de modo que se tenga un espacio macroporoso adecuado.

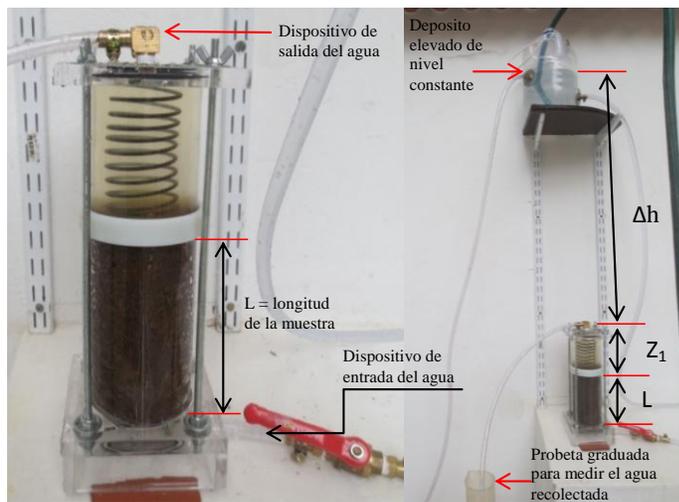
Físicamente, el sustrato es un medio poroso al igual que el suelo compuesto por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La proporción idealizada en que deben estar las tres fases para ofrecer un medio adecuado al crecimiento de las plantas, es 25% agua, 25% aire, 45% minerales y 5% materia orgánica, los cuales deben estar distribuidos equilibradamente en el espacio. (Jaramillo 2002). Debe tener una baja densidad aparente, elevada porosidad, elevada capacidad de retención de agua, estructura estable.

Químicamente, el sustrato ideal debe tener un pH neutro, que aunque se indique 7 en valor teórico, en la práctica se considera neutro a un pH entre 6.5 y 7. Es importante que el sustrato presente un adecuado contenido de elementos nutritivos totales o libres en la solución del sustrato o intercambiables, presentar una baja salinidad y adecuada capacidad de intercambio catiónico de acuerdo a las condiciones específicas.

Biológicamente, debe haber un equilibrio adecuado de la micro y macrofauna presente, ya que algunos microorganismos como hongos (*Fusarium* y *Phytophthora*) y bacterias (*Pseudomonas*), pueden producir patogenicidad y enfermedades en las plantas, pero la presencia de hongos como *Trichoderma* o *Streptomyces*, son capaces de suprimir la actividad de algunos hongos patógenos, como los ya mencionados. (Bures 2002).

## 2.5. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ), es la facilidad con la que el agua se mueve a través del suelo o medio poroso por unidad de área transversal a la dirección de flujo, establecida por el ingeniero francés Henry Darcy, quien encontró que el caudal que atravesaba el permeámetro era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico<sup>1</sup>. En la figura 2.7, se puede observar el permeámetro de carga constante, diseñado y elaborado para el desarrollo del presente proyecto, un permeámetro es un recipiente de sección constante por el que se hace circular agua conectando uno de sus extremos a un depósito elevado de nivel constante y el otro extremo un dispositivo de salida, que permite medir el agua recolectada en un determinado tiempo, o bien el tiempo utilizado para recolectar un determinado volumen de agua. En el laboratorio se debe mantener el caudal constante y medir la altura de la columna de agua en varios puntos (como mínimo dos), para establecer el gradiente hidráulico; el permeámetro se sitúa verticalmente y con flujo ascendente para facilitar la evacuación del aire contenido inicialmente en el material poroso, (Sanchez 2013).



**Figura 2.7: Esquema del permeámetro de carga constante elaborado**

<sup>1</sup>Gradiente hidráulico: es el incremento de una variable entre dos puntos del espacio, en relación con la distancia entre esos dos puntos.

Los ensayos realizados en laboratorio, permiten modificar las condiciones de la prueba, como el  $\Delta h$ , que se puede variar modificando la altura del depósito elevado de nivel constante, sin embargo, siempre que se utilice el mismo material, se cumple que:

$$Q = K_s * sección * \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Siendo Q el caudal,  $K_s$ , la constante hidráulica y  $\frac{\Delta h}{\Delta l}$  es el gradiente hidráulico ( $i$ ); si se utiliza otro material (más grueso o más fino), bajo las mismas condiciones, la constante de hidráulica es diferente, por lo que Darcy concluyó que esa constante es propia y característica de cada material. El cálculo de la conductividad hidráulica se determina despejando la ecuación del caudal establecida por Darcy, es decir, aplicando la siguiente expresión matemática (Juárez1990):

$$K_s = \frac{Q}{i * A} = \frac{Q}{\frac{\Delta h}{\Delta L} * A} = \frac{Q}{\frac{\Delta h}{\Delta L} * A} = \frac{Q}{\Delta h} * \frac{\Delta L}{A}$$

Dónde:

$K_s$  = Conductividad hidráulica saturada,  $\left[\frac{cm}{s}\right]$

$Q = V/t =$  Volumen acumulado de agua filtrada, (recogido en la probeta graduada)/Duración de la prueba,  $[cm^3/s]$

$\Delta L$  = Longitud de la muestra en la columna,  $[cm]$

$A$  = Área de la sección transversal para el flujo,  $[cm^2]$

$\Delta h$  = Carga de agua que se mantiene constante por encima del nivel superior de la muestra,  $[cm]$

- **Velocidad o Tasa de Infiltración**

La tasa de infiltración, es la velocidad con la que el agua es absorbida por el suelo (o percolación de columna) cada instante, en otras palabras, es la cantidad de tiempo que le toma al suelo absorber un cierto volumen de agua, por lo que corresponde al agua infiltrada por unidad de área y tiempo, se determina mediante la siguiente ecuación matemática (Juárez 1990):

$$V_i = \frac{Q}{A} = \frac{V}{t * A}$$

Dónde:

$V_i$  = Velocidad de infiltración,  $\left[\frac{cm}{s}\right]$

Q = Caudal (Volumen/tiempo)

A = área de sección transversal al flujo de agua  $[cm^2]$

V = Volumen de agua percolada

t = intervalo de tiempo, [s]

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta las capas inferiores.

### Capítulo 3. Aspectos Metodológicos

En este capítulo, se presenta la metodología por medio de la cual se llevó a cabo esta investigación, como primer paso se realizó una revisión bibliográfica, la cual permitió establecer los materiales de desecho a incorporar en el proyecto, estos fueron: cascarilla de arroz (CA), cascarilla de arroz tostada (CAT), cuesco de palma africana (cuesco) y granos de caucho reciclado (GCR), estos se encuentran detallados en la sección: 2.2 Una vez establecidos los materiales a utilizar, estos fueron evaluados, con el fin de determinar en qué capa de la cubierta verde cumplen una mejor función, descartándose el uso de los materiales de desecho orgánicos como capa de drenaje, debido a su rápida descomposición (Estudio FAO Riego y drenaje 2009).

#### 3.1. Diseño Muestral

Como primer paso y en base a la experiencia de otras investigaciones (Villa et al. 2012 y Molineux et al. 2009), se determinó diseñar cuatro sustratos, con la intención de buscar la validez externa del proyecto, se determinó que por cada sustrato se elaborarían cuatro repeticiones, para lo cual era necesario definir una sola especie vegetal a evaluar. Aunque el experimento fue realizado en la ciudad de Villavicencio, Colombia, se buscó el uso de una especie vegetal de fácil consecución y adaptabilidad en climas cálidos húmedos de cualquier lugar del mundo, generando conocimiento de relevancia.

Con el fin de lograr un conjunto de condiciones que aseguraran la certeza de los resultados obtenidos, se buscó disminuir al máximo el número de variables intervinientes en el desarrollo de la especie vegetal seleccionada dentro de cada uno de los cuatro sustratos diseñados. Para lograr una mejor evaluación, se crearon cinco bloques, B1, B2, B3, B4 y BT, cada uno con capacidad de albergar cuatro probetas, en las que se distribuyeron los cuatro sustratos diseñados (S1, S2, S3 y S4), alternando su posición en cada uno de los bloques, como se puede apreciar en el gráfico 3.1.

Grafico 3.1: Distribución de los Sustratos en cada Bloque

| BLOQUE 1 |    | BLOQUE 2 |    | BLOQUE 3 |    | BLOQUE 4 |    | BLOQUE T |    |
|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| S1       | S3 | S4       | S1 | S2       | S4 | S3       | S2 | S1       | S2 |
| S4       | S2 | S2       | S3 | S3       | S1 | S1       | S4 | S4       | S3 |

Los Bloques B1, B2, B3 y B4, fueron elaborados con la misma capa de drenaje, a diferencia del BT o bloque testigo, el cual fue elaborado utilizando como capa de drenaje la lámina Sika drenaje 32T, que es un material sintético de uso comercial para este fin. Cabe resaltar que los cuatro sustratos fueron instalados alternando su posición dentro de cada bloque, con el fin de obtener una evaluación objetiva, sin la influencia de la posición del sustrato dentro del bloque.

Con el fin de disminuir el mayor número de variables a intervenir, se determinó necesario dejar los siguientes parámetros fijos: el material de la capa de drenaje y su espesor, la capa filtrante, la pendiente, el espesor del sustrato y la capa vegetal. El diseño muestral seleccionado, es replicable y permite realizar una revisión continua de las diferentes variables consideradas en este estudio para una correcta evaluación resultados.

### **3.2. Determinación de la Capa de drenaje y su espesor**

El propósito de la capa de drenaje es proporcionar un equilibrio óptimo entre el aire y el agua en el sistema de techo verde, (Villa et al, 2012). En la actualidad, se utilizan principalmente dos tipos de capas de drenaje:

- De materiales sintéticos: son generalmente láminas en polietileno de alta densidad con nódulos que permiten agilizar el drenaje de aguas lluvias, la presentación comercial es en rollos.
- De materiales naturales: materiales de piedra porosa con cierta capacidad de retención de agua, como la arcilla expandida, esquistos expandidos, piedra pómez, puzolana natural, vermiculita, etc.

Bianchini y Hewage, en su artículo: *¿Qué tan "verdes" son los techos verdes?, Análisis del ciclo de vida de los materiales de techo verde*, concluyen que la contaminación liberada al aire por el proceso productivo de los polímeros usados como barrera de raíz, capa de drenaje y capa de retención de agua, en las cubiertas verdes, puede ser equilibrado por estas a largo plazo, es esencial explorar materiales que puedan reemplazar el actual uso de polímeros para mejorar la sostenibilidad global de los techos verdes, por lo que la utilización y reutilización de materiales de desecho es un paso obligatorio en la construcción verde.

Se realizó un análisis de las propiedades de los materiales de desecho seleccionados, y se estableció que los GCR, presentan características de durabilidad y drenaje, necesarios para su establecimiento como capa de drenaje. En España, ya se han adelantado estudios del uso de GCR como capa de drenaje en cubiertas verdes en un espesor de 4 cm, donde han concluido que son un buen sustituto al uso de materiales pétreos para la misma función (Rincón et al, 2014), por esta razón se determinó que el espesor de la capa de drenaje sería de 4cm, elaborada con GCR. Es importante establecer que los GCR se están utilizando como base para carreteras y vías férreas, en reemplazo arenas y gravas, que son entre 30% y 50% más ligeros y drenan 10 veces mejor que un suelo bien gradado, estudios preliminares muestran que su uso no es peligroso para la salud humana ni para el medio ambiente, (Villa et al, 2012).

El uso de miga de caucho reciclado o GRC, como capa de drenaje de los techos verdes extensivos, reduce la extracción de áridos y le da una segunda vida a un desperdicio urbano local, lo que permite reducir la carga ambiental debido al transporte materiales, aunado a esto, cabe destacar que las cubiertas verdes permiten la deconstrucción separada de sus diferentes capas y el posterior uso de las mismas en otros tejados con la misma función de drenaje o incluso para otros fines de construcción (mezclados en hormigón, bases de carreteras, etc.) (Rincón et al. 2014).

**3.2.1. Caracterización física de los GCR:** Se evaluaron las propiedades físicas más determinantes, como lo son la granulometría y la gravedad específica ( $G_s$ ), cuyos resultados se encuentran en el anexo A. estos ensayos se llevaron a cabo bajo las normas INV E-123-07 para granulometría y INV E-225-07 para las densidades, con los resultados obtenidos se elaboró la tabla 3.2, en la cual se presentan los resultados encontrados.

**Tabla 3.1: Propiedades Físicas de los GCR**

| PROPIEDADES FÍSICAS - GCR |       |                          |
|---------------------------|-------|--------------------------|
| Gravedad específica       | $G_s$ | 1.135                    |
| Densidad aparente         | $D_a$ | 400.24 Kg/m <sup>3</sup> |

La gravedad específica del suelo ( $G_s$ ), es un tipo particular de densidad relativa equivalente que se obtiene de la relación entre la densidad del suelo y la densidad del agua, por tanto es adimensional. El resultado típico de un suelo oscila entre 2.65 para gravas y 2.72 para arcillas, como se observa en la tabla 3.1, los GCR por su constitución tiene un resultado menor y totalmente diferente. La densidad aparente de los GCR, se calculó por medio de

la relación entre la masa de GCR y su volumen, obteniéndose  $400,24 \text{ kg/m}^3$ , que es una densidad baja si la comparamos con un suelo típico que oscila entre  $1180$  y  $1340 \text{ Kg/m}^3$  para una arcilla y entre  $1340$  y  $149 \text{ Kg/m}^3$  para suelos arenosos.

Se contrastaron los resultados obtenidos en los GCR locales, con los de la investigación llevada a cabo en España sobre el uso de migas de caucho como capa de drenaje de los techos verdes experimentales, llevada a cabo por Villa et al. 2012. Como se observa en la tabla 3.2, determinándose que los GCR locales, presentan una densidad aparente baja, lo que puede traducirse en una reducción en el peso del sistema de cubierta verde.

**Tabla 3.2: Densidad Aparente de los GCR locales vs investigación de referencia**

| REFERENCIA DE GCR       | DENSIDAD APARENTE    |
|-------------------------|----------------------|
| local (2.26 - 0.3 mm)   | 0.40 $\text{g/cm}^3$ |
| R-Big (2 - 7 mm)        | 0.64 $\text{g/cm}^3$ |
| R - Half (2 - 3.5 mm)   | 0.61 $\text{g/cm}^3$ |
| R- small (0.8 - 2.5 mm) | 0.58 $\text{g/cm}^3$ |

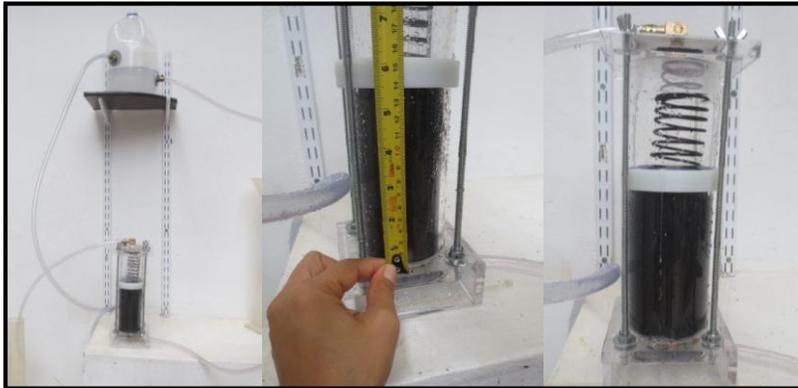
**3.2.2. Análisis Químico del grano de caucho:** La valoración de las propiedades químicas de los GCR, se estableció con el fin de tener datos de referencia iniciales. El diseño de las probetas contempló la separación de la capa de drenaje y el sustrato, mediante una lámina geotextil, impidiendo el contacto directo de estas capas, por lo que las propiedades químicas no presentaban incidencia sobre el desempeño de los sustratos, ni sobre el desarrollo de la vegetación. En la tabla 3.3, se encuentran las propiedades químicas de los GCR evaluados, de acuerdo a los resultados de los ensayos químicos que se encuentran en el anexo B.

**Tabla 3.3: Propiedades Químicas de los GCR**

| COMPONENTE     | VALOR           | UNIDAD   |
|----------------|-----------------|----------|
| TEXTURA        | Material Inerte | -        |
| FOSFORO (P)    | 7.1             | ppm      |
| PH             | 6.8             | -        |
| ALUMINIO (Al)  | 0.05            | meq/100g |
| CALCIO (Ca)    | 1.85            |          |
| MAGNESIO (Mg)  | 0.1             |          |
| POTASIO (K)    | 0.05            |          |
| SODIO (Na)     | 0.09            | ppm      |
| COBRE (Cu)     | 0.15            |          |
| HIERRO (Fe)    | 6.25            |          |
| MANGANESO (Mn) | 0.65            |          |
| ZINC (Zn)      | 140.62          |          |
| BORO (B)       | 0.42            |          |
| AZUFRE (S)     | 41.64           |          |

La fabricación de neumáticos se lleva cabo mediante la vulcanización, que es el proceso químico para la conversión del caucho o polímeros, en materiales más duraderos a través de la adición de azufre u otros equivalentes, que modifican el polímero mediante la formación de enlaces cruzados o puentes entre las distintas cadenas de polímeros, el óxido de zinc ayuda a acelerar el proceso de vulcanización, es por esta razón que en los resultados químicos de los GCR se aprecia la presencia de un alto porcentaje de Zinc y Azufre.

**3.2.3. Conductividad Hidráulica del grano de caucho:** Como se estableció en el numeral 2.5, la conductividad hidráulica, es la facilidad con la que el agua se mueve a través del medio poroso por unidad de área transversal a la dirección de flujo. Como se puede apreciar en la figura 3.1, la determinación de la conductividad hidráulica ( $K_s$ ) de los GCR, se realizó con ayuda del permeámetro de carga constante, mediante la aplicación directa de la ley de Darcy para un flujo vertical unidimensional en una columna saturada de suelo.



**Figura 3.1: Determinación de parámetros hidráulicos de los GCR**

Para la determinación de los parámetros hidráulicos, se tomaron datos para 3 alturas diferentes de tanque elevado (variación del  $\Delta h$ ), para cada altura se tomó registro de 3 datos del tiempo en que se recolectó la misma cantidad de volumen percolado (recolectado en la probeta, después de atravesar el material), se calculó la velocidad de infiltración, mediante la siguiente expresión (Juárez1990):

$$V_i = \frac{Q [cm^3/s]}{A[cm^2]} = \frac{V}{t * A}$$

Con formato: Centrado

Dónde:

Q= Caudal (Volumen de agua percolada/tiempo de percolación)

V = Volumen de agua percolada

t = tiempo de percolación

A = Área

Se graficó, el caudal vs el  $\Delta h$ , con la línea promedio, se tomaron dos puntos con el fin de determinar la permeabilidad, este valor se multiplicó por la constante  $\Delta L/A$  del permeámetro y se halló la conductividad hidráulica ( $K_s$ ); los datos de los ensayos y cálculos se encuentran en el anexo C. Las propiedades hidráulicas obtenidas se presentan en la tabla 3.4, y permiten establecer que los GCR locales se clasifican con una conductividad hidráulica alta, de acuerdo al rango de valores de conductividad hidráulica del suelo saturado elaborada por la Soil Survey Division Staff (SSDS 1993).

**Tabla 3.4: Propiedades Hidráulicas de los GCR**

| GRANULOS CAUCHO RECICLADO GCR         |  | RANGO DE VALORES DE $K_s$ |              |
|---------------------------------------|--|---------------------------|--------------|
| Conductividad Hidráulica $K_s$ (cm/h) | Velocidad de Infiltración $V_i$ (cm/s) | clase                     | cm/h         |
| 8.97                                  | 0.54                                   | muy alta                  | >36          |
|                                       |  | alta                      | 3.6-36       |
|                                       |  | Moderadamente alta        | 0.36-3.6     |
|                                       |  | Moderadamente baja        | 0.036-0.36   |
| Clasificación                         | Alta                                   | baja                      | 0.0036-0.036 |
|                                       |  | muy baja                  | <0.0036      |

En el diseño de cubiertas verdes inclinadas, el establecimiento de las variables hidráulicas es fundamental ya que permiten prever problemas de erosión en el sustrato. Al aplicar agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa constantemente, llega un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad de infiltración del suelo, y el exceso de agua se acumula sobre la superficie, o escurre si existe una pendiente. La tasa de infiltración es un parámetro que permite dar una idea de cómo el agua se infiltra en un medio, si es un valor alto, significa que el medio tiene una gran cantidad de espacio poroso y no hay problemas de erosión.

### 3.3. Determinación de la Capa filtrante

La capa filtrante, permite el paso del agua, pero obstruye el paso de las pequeñas partículas del sustrato hacia la capa de drenaje. Su uso en la elaboración de cubiertas verdes, es opcional, ya que no siempre se incorpora, sin embargo es de aclarar que el uso de esta capa permite beneficios como son la separación de las partículas de la capa de drenaje y el sustrato, (permitiendo así el uso futuro de estos componentes) y el impedimento del paso de partículas finas del sustrato hacia la capa de drenaje, evitando su obstrucción y permitiendo su adecuado funcionamiento. Se determinó que todas las probetas se debían elaborar utilizando la misma capa filtrante, la cual consistió en geotextil no tejido NT 1500. La figura 3.2, presenta la instalación del geotextil, sobre la capa de drenaje de 4cm en gránulos de caucho reciclado.



Figura 3.2: Instalación del Geotextil NT 1500 sobre capa de drenaje de GCR.

### 3.4. Diseño y espesor de los Sustratos a evaluar

Como primer paso, se determinó que los sustratos de las probetas tendrían 5 cm de espesor, tomando como referencia el espesor utilizado por Pérez et al. 2011 y C.Y. Jim 2013, en investigaciones de cubiertas verdes extensivas. Como segundo paso, fueron seleccionados la Cascarilla de arroz, la cascarilla de arroz tostada y el cuesco de palma africana, como integrantes en la elaboración de los cuatro sustratos, ya que sus propiedades podrían aportar porosidad, baja densidad, permeabilidad y nutrientes a los sustratos. La cascarilla de arroz cruda (CA), es muy asequible en la región, por tanto se determinó que dos sustratos se elaborarían con este producto.

Dentro de la investigación, se buscó emplear suelo proveniente de excavación, para facilitar el fomento de cubiertas verdes en la región, por tanto el primer paso fue evaluar las propiedades

físicas propias del suelo de común de excavación, las cuales pueden ser revisadas en anexo A, encontrándose que se trataba de una arcilla inorgánica de color café de baja a media plasticidad, con un porcentaje de 50.3% de arcilla y limos (pasa el tamiz 200) y un 49.7% de arena, estas condiciones no eran favorables para lograr un sustrato franco o franco arenoso, que permitiera un buen drenaje y aireación, por lo que se decidió mezclarlo con arena natural, para lograr una mejor textura y aporte de materia orgánica a la mezcla.

La arena seleccionada y utilizada en el diseño de los sustratos es proveniente de la quebrada la Argentina, la cual corresponde a una arena fina limosa de color negro, con un porcentaje de 16.3% de arcillas y limos (pasa tamiz 200) y un 83.7% de arena, de acuerdo a los resultados que se encuentran en el anexo A. Se analizaron cuatro opciones de mezclas volumétricas, con diferentes porcentajes, optando por la opción 4, la cual se muestra en la tabla 3.5, encontrando que esta opción proporcionaba 53.36% de arena y 26.64% de arcilla más limo, logrando una mezcla franco arenosa.

**Tabla 3.5: Porcentaje de suelo y arena para el diseño del sustrato (opción 4)**

| COMPONENTE    | % PASA TAMIZ 200 (ARCILLA Y LIMO) | ARENA | OPCIÓN 4<br>(SUELO 40% + ARENA 30%) |                               |
|---------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------|
|               |                                   |       | % ARENA EN LA MEZCLA                | % ARCILLA + LIMO EN LA MEZCLA |
| SUELO         | 50.3                              | 49.7  | 19.88                               | 20.12                         |
| ARENA NATURAL | 16.3                              | 83.7  | 33.48                               | 6.52                          |
|               |                                   |       | 53.36%                              | 26.64%                        |

Por tanto se determinó que el diseño de tres sustratos estaría compuesto por 40% material de suelo de excavación, 30% arena natural, 20% de material de desecho orgánico (CA, CAT, cuesco) y 10% de compost elaborado por la empresa BioAgrícola del llano SAESP, (Empresa recolectora de residuos de la ciudad), quienes elaboran el compost a partir de los desechos orgánicos de Cemerca (Central de abastos) y los residuos de poda de la ciudad.

El cuarto sustrato, tiene como base principal la cascarilla de arroz, pero sometida a un proceso de descomposición previa a su uso, fue diseñado por el ingeniero agrícola Armando Narváez, quien mezcla la cascarilla de arroz cruda con bobinaza (estiércol de bobino), y los somete a un proceso de descomposición aeróbica, durante 6 meses, adicionándole un pequeño porcentaje de Dolomita

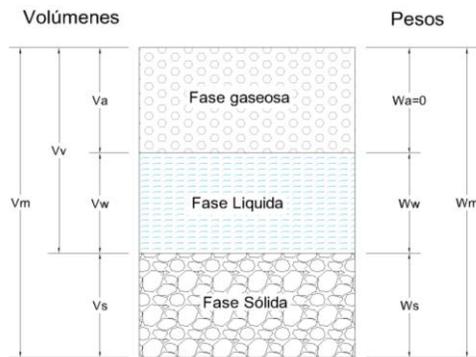
y roca fosfórica, pasado este tiempo, añade a la mezcla arena natural y gallinaza, está mezcla la utiliza como abono orgánico y como sustrato en su vivero.

El diseño final de los cuatro sustratos se presenta en la tabla 3.6, donde se establece el porcentaje de cada componente.

**Tabla 3.6: Diseño final de los 4 sustratos, porcentaje de sus componentes en Volumen**

| SUSTRATO | COMPONENTES ( Porcentajes en Volumen) |       |                     |     |        |          |           |         |                |          |
|----------|---------------------------------------|-------|---------------------|-----|--------|----------|-----------|---------|----------------|----------|
|          | SUELO                                 | ARENA | MATERIAL DE DESECHO |     |        |          |           |         | ROCA FOSFORICA | DOLOMITA |
|          |                                       |       | CA                  | CAT | CUESCO | BOBINAZA | GALLINAZA | COMPOST |                |          |
| S1       | 40%                                   | 30%   | 20%                 | -   | -      | -        | -         | 10%     | -              | -        |
| S2       | 40%                                   | 30%   | -                   | 20% | -      | -        | -         | 10%     | -              | -        |
| S3       | 40%                                   | 30%   | -                   | -   | 20%    | -        | -         | 10%     | -              | -        |
| S4       | -                                     | 20%   | 57%                 | -   | -      | 10%      | 10%       | -       | 1.5%           | 1.5%     |

**3.4.1. Caracterización física de los Sustratos:** Las propiedades de un sustrato, permiten establecer su desempeño en el desarrollo adecuado de la vegetación que se implante en él. Es importante que un sustrato tenga: baja densidad aparente, elevada porosidad, elevada capacidad de retención de agua y una estructura estable. Como ya se había establecido en el numeral 2.4, el sustrato al igual que el suelo, se compone de tres fases: sólida, líquida y gaseosa, para facilitar la comprensión de las ecuaciones que intervinieron en la evaluación, se realizó la figura 3.3 donde se indican los símbolos usados.



**Figura 3.3: Esquema de una muestra de suelo y símbolos usados**

Dónde:

$V_m$  = Volumen de la muestra (Volumen de la masa).

$V_s$  = Volumen de la fase sólida de la muestra (Volumen de sólidos).

$V_v$  = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo (Volumen de vacíos).

- Vw = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (Volumen de agua).
- Va = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (Volumen de aire).
- Wm = Peso total de la muestra de suelo (Peso de la masa).
- Ws = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (Peso de los sólidos).
- Ww = Peso de la fase líquida de la muestra (Peso del agua).
- Wa = Peso de la fase gaseosa de la muestra, considerado como nulo.

Por medio de algunas relaciones entre estos componentes, se pueden establecer las siguientes propiedades:

- **Densidad Aparente:** Es la densidad del suelo teniendo en cuenta su organización, refleja el contenido total de porosidad en el suelo y es importante para el manejo de los suelos ya que refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire, se calcula mediante la siguiente ecuación (Jaramillo 2002):

$$D_a = \frac{W_s}{V_m} = \frac{W_s}{(V_s + V_v)} = \frac{W_s}{(V_a + V_w + V_s)}$$

Con formato: Centrado

- **Gravedad específica:** La gravedad específica del suelo ( $G_s$ ), es un tipo particular de densidad relativa equivalente que se obtiene de la relación entre la densidad del suelo y la densidad del agua, por tanto es adimensional.
- **Densidad Real:** Es la densidad de la fase sólida del suelo, se calcula mediante la siguiente ecuación (Jaramillo 2002):

$$D_r = \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Con formato: Centrado

Al tener el dato del  $G_s$  ( $\frac{\gamma_s}{\gamma_w}$ ), cuando el agua se encuentra a 4 °C y dividirlo por el factor de corrección, se obtiene la densidad real ( $D_r = \gamma_s$ ).

- **Porosidad:** Por medio del cálculo de la densidad aparente y de la densidad real, puede establecerse la porosidad, que es equivalente al volumen ocupado por los poros, expresado como porcentaje del volumen total del suelo (Jaramillo 2002).

$$P(\%) = 100 \times \left[ 1 - \frac{D_a}{D_r} \right]$$

Con los resultados obtenidos se elaboró la tabla 3.7 donde se puede apreciar que los sustratos S1, S2 y S3, presentan una gravedad específica típica para gravas y arenas que es de 2.65, a diferencia del sustrato S4, que tiene una gravedad específica de 1.858 que es un valor típico en las turbas. Se estableció una diferencia notoria entre la densidad aparente de los sustratos S1, S2 y S3, respecto a la densidad del Sustrato S4, que es mucho menor que la de los demás sustratos, esta densidad se calculó por medio de la relación entre la masa de cada sustrato y su volumen, cabe anotar que todas las densidades de los sustratos diseñados, son menores a las obtenidas en un suelo típico.

**Tabla 3.7: Propiedades Físicas de los Sustratos**

| DENSIDAD APARENTE                     | GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)          | k  | DENSIDAD REAL                      | POROSIDAD   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------------|---|
| $D_a = \frac{W_s}{(V_a + V_w + V_s)}$ | $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$ | factor de corrección en la densidad del agua a 25 °C | $D_r = \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ | $P(\%) = 100 \times \left[ 1 - \frac{D_a}{D_r} \right]$ |
| S1                                    | 1128.86 Kg/m³                     | 0.99705  | 2613                               | 57.00%  |
| S2                                    | 953.66 Kg/m³                      |  | 2562                               | 63.00%  |
| S3                                    | 1107.02 Kg/m³                     |  | 2622                               | 58.00%  |
| S4                                    | 277.41 Kg/m³                      |  | 1863                               | 85.00%  |

• **Análisis Granulométrico**

Tiene por finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, lo que permite una clasificación mediante sistema AASTHO(American Association of State Highway Officials) o USCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). Para la obtención de la distribución de los tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en un orden decreciente, como puede observarse en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8: Serie de Tamices Norma ASTM E-11/95**

| SERIE        | DESIGNACIÓN | TAMAÑO ABERTURA | TIPO DE SUELO    |
|--------------|-------------|-----------------|------------------|
| SERIE GRUESA | 3"          | 76,120 mm       | GRAVA GRUESA     |
|              | 2"          | 50,800 mm       |                  |
|              | 1"          | 25,400 mm       | GRAVA            |
|              | 3/4"        | 19,050 mm       |                  |
|              | 1/2"        | 12,700 mm       |                  |
| SERIE FINA   | 3/8"        | 9,520 mm        | GRAVA FINA       |
|              | No. 4       | 4,760 mm        | ARENA MUY GRUESA |
|              | No. 8       | 2,380 mm        | ARENA GRUESA     |
|              | No. 16      | 1,190 mm        | ARENA FINA       |
|              | No. 30      | 0,590 mm        | ARENA MUY FINA   |
|              | No. 50      | 0,297 mm        | ARENA FINA       |
|              | No. 100     | 0,149 mm        | ARENA MUY FINA   |
|              | No. 200     | 0,074 mm        | ARENA FINA       |

NORMA ASTM E-11/95

El método de los tamices, se utiliza para suelos con tamaño de partículas mayor a 0.074 mm (74 micrones), que corresponde a la abertura real del tamiz 200, para suelos de tamaño inferior se utiliza el método del hidrómetro.

El tamaño de las partículas de los sustratos evaluados, es menor a 5 mm, por lo que se empleó la serie fina de tamices y una muestra de 500 gr., que es la cantidad mínima que pide la norma para estas condiciones. En el anexo A, se encuentran las curvas granulométricas de los sustratos evaluados determinándose que según el tamaño de sus granos se clasifican como arenas, con la ayuda de las curvas, se establecieron los coeficientes de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc), que se encuentran en la tabla 3.9, clasificando los sustratos como arenas mal gradadas, ya que para que clasificar una arena como bien gradada, el Cu debe ser mayor a 6 y el Cc debe estar entre 1 y 3.

**Tabla 3.9: Coeficientes de Uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc) de los Sustratos**

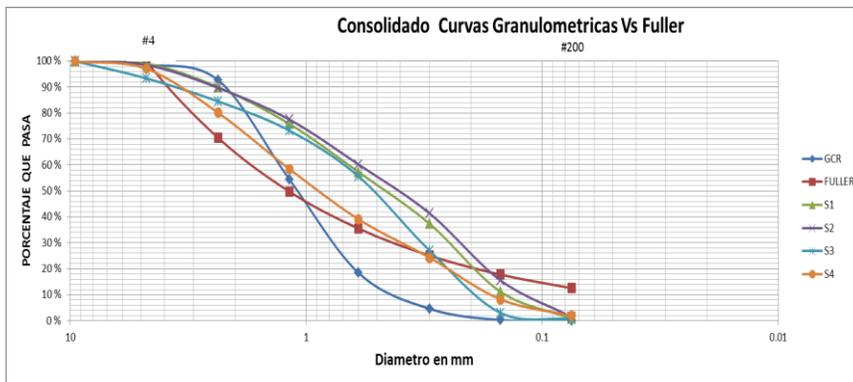
| MATERIAL | COEFICIENTE |      |
|----------|-------------|------|
|          | Cu          | Cc   |
| S1       | 4.53        | 0.61 |
| S2       | 4.29        | 0.63 |
| S3       | 3.68        | 0.87 |
| S4       | 7.65        | 0.72 |
| GCR      | 3.11        | 1.02 |

El Cu, mide la condición de uniformidad o distribución de tamaños, será un valor bajo si la curva se extiende poco horizontalmente, y un valor alto si la curva se extiende demasiado horizontalmente, presentando una buena distribución de tamaños. El coeficiente de curvatura califica lo que sucede en cuanto a la distribución de tamaños intermedios.

La gráfica 3.2, muestra el consolidado de las curvas en contraste con la curva ideal de Fuller, como se puede observar los GCR presentan un tamaño uniforme (entre arena gruesa y arena media), lo que le permite una mayor permeabilidad, en segundo lugar se encuentra el S4, que aunque presenta partículas entre tamaños clasificados entre arenas gruesas y arenas finas, posee tamaños más gruesos permitiendo que sea más permeable que los demás sustratos; los sustratos S1 y S2, presentan curvas muy similares, sin embargo el sustrato S2 tiene mayor cantidad de partículas finas que el sustrato S1, lo que lo hace menos permeable que este, cabe recordar que la diferencia de composición entre estos dos sustratos es que el S1 contiene un 20% de cascarilla de arroz, mientras el S2

contiene un 20% de cascarilla de arroz tostado, lo que genera la presencia de cenizas provenientes del proceso de tostado, estas partículas por ser más finas tienen mayor proporción de microporos que macroporos, por lo que el drenaje disminuye. De la gráfica granulométrica, se observa que el S3, presenta una distribución de tamaños más gruesa que los sustratos S1 y S2, pero más fina que el S4. Las granulometrías para los sustratos y los GCR, son continuas.

**Gráfico 3.2. Curvas Granulométricas de los Sustratos Vs Curva ideal de Fuller**

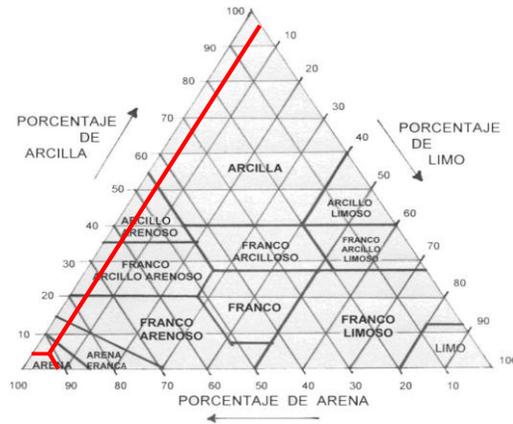


Es importante aclarar que la referencia de la curva granulométrica óptima o ideal, establecida por Fuller, pretende encontrar la distribución de tamaños óptima para los agregados del concreto, de manera que se logren concretos más resistentes y económicos, pero en este caso lo que se busca en los sustratos, es que presenten una textura que permita un adecuado drenaje y aireación del sustrato, y a su vez una retención de agua que permita un desarrollo adecuado de la vegetación.

En la edafología, es común clasificar el suelo o sustrato analizado por medio del diagrama triangular, que permite darle un nombre asimilándolo a la clase textural que tenga. En la gráfica 3.3, se ubicó el porcentaje promedio de arcillas, limos y arenas de los cuatro sustratos, quedando ubicados en la clase textural arenosa, que equivale según la USDA<sup>1</sup> a de 86% a 100% de tamaño arenoso, del 0% al 14% de tamaño limoso y del 0% al 10% de tamaño arcilloso.

<sup>1</sup>USDA, United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de Estados Unidos).

**Grafico 3.3. Textura de los Sustratos mediante el diagrama triangular**



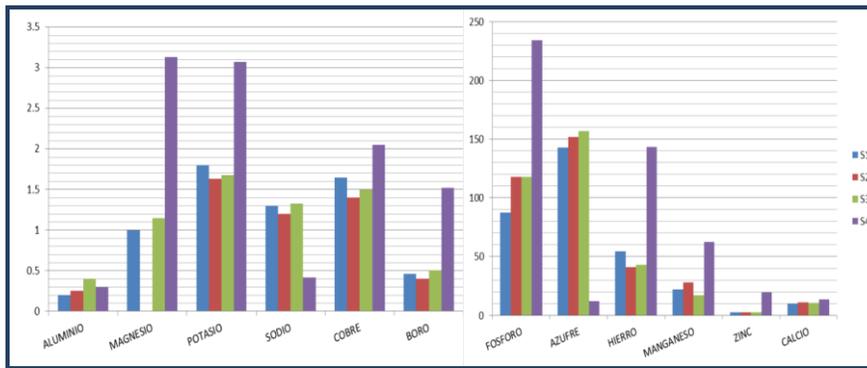
**3.4.2. Análisis Químico de los Sustratos:** La química de los suelos es la parte de la ciencia del suelo que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos (Jaramillo 2002). Las propiedades químicas y físico químicas se derivan de la composición elemental de los materiales que componen el sustrato y del modo en los elementos están fijados al sustrato y su relación con el medio, en otras palabras un sustrato podrá ser más o menos estable en el tiempo en función de su reactividad química, debido a esto, de manera general los sustratos se clasifican en dos: los químicamente inertes y los químicamente no inertes, dependiendo si los materiales que componen el sustrato reaccionan con la fase líquida, liberando o absorbiendo elementos nutritivos o si no se descomponen ni liberan elementos solubles. En el anexo B, se presentan los componentes químicos de los sustratos evaluados, y la tabla de los valores para su interpretación, con los que se elaboró la tabla 3.10, de la que se puede establecer que los sustratos S1, S2 y S3 son químicamente muy similares, presentan un pH neutro, cantidades altas de Fosforo (P), Calcio (Ca), Potasio (K), Sodio (Na), lo cual es bueno, con cantidad baja de Aluminio (Al) que es bueno, condiciones óptimas de Zinc (Zn) y Boro (B), sin embargo presentan condiciones bajas de Magnesio (Mg) y alta de Azufre (S) lo cual no es bueno para las plantas, sin embargo es de aclarar que la mayoría de las plantas pueden tolerar niveles muy altos de azufre en el sustrato.

**Tabla 3.10: Resultados químicos de los Sustratos y Valores de Referencia**

| COMPONENTE     | UNIDAD   | S1           | S2           | S3           | S4                | VALORES DE REFERENCIA UNILLANOS |           |
|----------------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-----------|
|                |          |              |              |              |                   | bajo (<a)                       | alto (>a) |
| TEXTURA        | -        | Areno franca | Areno franca | Areno franca | Material Organico | bajo (<a)                       | alto (>a) |
| PH             | -        | 6            | 6.1          | 6.3          | 7.3               |                                 |           |
| FOSFORO (P)    | ppm      | 87.6         | 117.8        | 117.8        | 234               | 15                              | 30        |
| AZUFRE (S)     | ppm      | 142.6        | 151.6        | 156.96       | 11.96             | 8                               | 15        |
| HIERRO (Fe)    | ppm      | 54.38        | 41.25        | 43.13        | 143.13            | 20                              | 40        |
| MANGANESO (Mn) | ppm      | 21.88        | 28.13        | 16.88        | 62.5              | 5                               | 10        |
| ZINC (Zn)      | ppm      | 2.45         | 2.35         | 2.65         | 19.38             | 3                               | 6         |
| CALCIO (Ca)    | meq/100g | 10.1         | 11.25        | 10.35        | 13.75             | 2                               | 5         |
| ALUMINIO (Al)  | meq/100g | 0.2          | 0.25         | 0.4          | 0.3               | 1.5                             | 3         |
| MAGNESIO (Mg)  | meq/100g | 1            | 0.01         | 1.15         | 3.13              | 1                               | 2         |
| POTASIO (K)    | ppm      | 1.8          | 1.63         | 1.68         | 3.07              | 0.15                            | 0.3       |
| SODIO (Na)     | ppm      | 1.3          | 1.2          | 1.33         | 0.42              | -                               | -         |
| COBRE (Cu)     | ppm      | 1.65         | 1.4          | 1.5          | 2.05              | 1                               | 3         |
| BORO (B)       | ppm      | 0.46         | 0.4          | 0.51         | 1.52              | 0.2                             | 0.6       |

El sustrato S4, tiene diferencias químicas con los otros tres sustratos evaluados, como se aprecia en la gráfica 3.4., hay diferencias notorias en los contenidos de:Fosforo (P), Magnesio (Mg), Potasio (K), Sodio (Na), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Boro (B) y Azufre (s), aunado a un valor demateria orgánica (M.O) y pH que aunque sigue siendo neutro es mayor que el de los demás sustratos evaluados.

**Gráfico 3.4. Propiedades químicas de los Sustratos**



**3.4.3. Conductividad Hidráulica de los sustratos:** La conductividad hidráulica de los sustratos se evaluó con la ayuda del permeámetro de carga constante, los datos registrados y las tablas de evaluación se encuentran en el anexo C. Para la determinación de los parámetros hidráulicos, se tomaron datos para tres alturas diferentes del tanque elevado (variación del  $\Delta h$ ), para cada altura se tomó registro de cuatro datos del tiempo en que se recolectó la misma cantidad de volumen percolado (recolectado en la probeta, después de

atravesar el material). Se determinó realizar cuatro tomas de tiempo para cada altura, debido a que cada vez que el agua pasa a través del material, las partículas finas se van acomodando cerrando vacíos, lo que disminuye la capacidad de infiltración del sustrato por ser más compacto. Se observó que el sustrato S4 es el más permeable de todos, esto es debido a sus altos contenidos de material orgánica y cascarilla de arroz, que genera poros continuos facilitando la infiltración, el volumen percolado medido dependió de las características de permeabilidad de cada sustrato, para los sustratos S1 y S4 el volumen percolado fue de 500 cm<sup>3</sup>, mientras que para los sustratos S2 y S3, el volumen fue de 250 cm<sup>3</sup>. Con los resultados obtenidos se realizó la tabla 3.11, donde se incluyen parámetros de referencia establecidos por el Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) en el SoilSueveyDivision Staff.

**Tabla 3.11: Resultados hidráulicos de los Sustratos y Valores de Referencia**

| SUSTRATO | Conductividad Hidraulica<br>Ks (cm/h) | Velocidad de Infiltración<br>Vi (cm/s) | CLASIFICACIÓN      | RANGO DE VALORES DE Ks |              |
|----------|---------------------------------------|--|--------------------|------------------------|--------------|
|          |                                       |  |                    | clase                  | cm/h         |
| S1       | 0.56                                  | 0.0354                                 | Moderadamente alta | muy alta               | >36          |
| S2       | 0.15                                  | 0.0025                                 | Moderadamente baja | alta                   | 3.6-36       |
| S3       | 0.02                                  | 0.0004                                 | baja               | Moderadamente alta     | 0.36-3.6     |
|          |                                       |  |                    | Moderadamente baja     | 0.036-0.36   |
| S4       | 1.03                                  | 0.0546                                 | Moderadamente alta | baja                   | 0.0036-0.036 |
|          |                                       |  |                    | muy baja               | <0.0036      |

Como se observa en la tabla 3.11, los sustratos S1 y S4 son los que presentan una mayor conductividad hidráulica, clasificándose como moderadamente alta, seguidos del sustrato S2, que presenta una conductividad hidráulica moderadamente baja, y por último se encuentra el sustrato S3 con conductividad hidráulica baja, este parámetro se evidenció en las probetas, ya que el sustrato S3 presentaba aposamiento del agua lluvia.

La baja conductividad hidráulica del sustrato S3, puede conducir a problemas de erosión en cubiertas con pendientes altas, mayor escorrentía superficial y dificultad en el aprovechamiento de agua lluvia en una futura investigación.

### 3.5. Determinación de la Capa Vegetal

Se determinó que las 20 probetas, se construirían con una sola especie vegetal, cuyas características permitieran su adecuado desarrollo en una capa de 5 cm de espesor de sustrato, por tanto, la especie vegetal debía ser: nativa, perenne, resistente, tolerante a la sequía, rastrera, preferiblemente invasora, raíz poco profunda, de bajo mantenimiento, disponible en el contexto local, de fácil desarrollo en suelos poco fértiles, resistente a plagas o infecciones. Mediante revisión bibliográfica se estudiaron las tres opciones que se muestran en la figura 3.4: *Arachis Pintoi* (maní forrajero), *Puerariaphaseoloides* (kudzu forrajero) y *Axonopus Compressus* (grama trenza), los cuales presentan la mayoría de las condiciones para ser establecidos como especie vegetal en cubiertas verdes extensivas.



a) Maní forrajero

b) Kudzu forrajero

c) Grama trenza

**Figura 3.4: Especies vegetales estudiadas**

Tal y como se puede verificar en sus fichas técnicas que se encuentran en el anexo D, sin embargo la grama trenza es ampliamente usada en canchas deportivas y separadores viales, donde es posible establecer que presenta baja tolerancia a la sequía, debido a esta condición fue descartada para su uso en la presente investigación, por otra parte el kudzu, requiere suelos de mediana fertilidad, mientras que el arachispintoi puede sobrevivir en suelos infértiles, por lo que se asume que su mantenimiento implica menores costos que el kudzu, aunado a esta condición, el kudzu tiene un sistema radicular fuerte y profundo, que puede llegar a ocasionar problemas en una cubierta extensiva. Investigaciones adelantadas en Hong Kong han establecido que el *Arachispintoi* cumple con los criterios clave para su uso en techos verdes, como son: rápido establecimiento, cobertura de alta densidad, dispersión lateral vigorosa, resistencia a plagas y ataque de enfermedades, y una baja necesidad de mantenimiento, por tanto se escogió el *Arachispintoi* como especie vegetal para esta investigación.

El *Arachispintoi* o maní forrajero, es una leguminosa, perenne, rastrera, originaria de América del Sur, estolonífera, de muy buena adaptación en todo tipo de suelo, aunque suele crecer mejor en

suelos franco arenosos o franco arcillosos, se adapta bien a diversos ambientes tropicales desde 0 hasta 1300 msnm y precipitaciones desde 2000 a 5500 mm/año, tolera condiciones de mal drenaje o encharcamiento, tiene hojas son de color verde oscuro, grandes, anchas y ovaladas, de buena cobertura, tolera la sombra, el pastoreo fuerte y el pisoteo, fija nitrógeno atmosférico hasta en un 80% de sus requerimientos, por su origen silvestre no es muy atacada por hongos, virus o nematodos, produce gran cantidad de semillas, necesita control de malezas en su establecimiento así como un requerimiento en Fosforo, Potasio, Magnesio y Azufre, por lo que se espera que su establecimiento sea adecuado en los cuatro sustratos, pero más rápido en el S4, por sus mayores contenidos de Fosforo, Potasio y Magnesio.

Es importante destacar que las leguminosas utilizadas como cobertura vegetal, se constituyen en abonos verdes con amplios beneficios para los suelos, entre los que se puede contar:

- Permite la agregación de las partículas minerales del suelo
- Aumenta la capacidad de retención del agua
- Favorece de la infiltración, porosidad total, aireación y conductividad hidráulica
- Protege el suelo de la radiación solar y del efecto negativo del impacto directo de las gotas de lluvia.
- Disminuye los procesos erosivos.
- Regula la temperatura del suelo, haciendo más eficiente el uso del agua en los cultivos
- Aumenta el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de macro y micro nutrientes.
- Disminuye los efectos tóxicos del aluminio presente en el suelo.
- Mejora el reciclaje y movilización de nutrientes.

El uso de abonos verdes, permite la permanencia de micro organismos en el suelo (hongos, bacterias y actinomicetos) y de la mesofauna (lombrices de tierra), que contribuyen a la descomposición de materia orgánica, el ciclaje, disponibilidad de fósforo (P), la agregación y aireación del suelo (Navas G., Bernal, J. 1999).

### **3.6. Determinación de la Pendiente**

La cubierta verde, al igual que cualquier otro sistema de techo corresponde a la superficie superior de una casa o edificio que proporciona una barrera resistente y protege de la intemperie al interior del edificio. Para facilitar la evacuación del agua, generalmente los techos están inclinados

o arqueados, y en el caso de los techos planos, se recurre a dejar una pequeña pendiente que facilite el drenaje y elimine la escorrentía, (Kosareo, Ries 2007).

Las cubiertas planas, con espesores pequeños de sustrato y sin capa de drenaje, suelen presentar problemas de estancamiento ante fuertes lluvias, (Minkey1992), lo cual puede ser perjudicial para las plantas, pues se afecta la respiración de la raíz, por las condiciones de alta pluviosidad establecidas en la Grafico 2.4: Precipitación media mensual máxima y mínima en varias ciudades, fue necesario que las probetas se realizaran con una capa de drenaje de 4 cm de espesor y una pendiente mínima. De acuerdo a la literatura la pendiente mínima en una cubierta plana debe encontrarse entre el 1% y el 5%, para permitir una adecuada conducción del agua hacia los sumideros, a menor pendiente disminuye la velocidad de evacuación por sumidero (filtración) y aumenta la evacuación por canaleta (escorrentía); debido a que una de las finalidades de esta investigación, era evaluar el desempeño de la capa de drenaje, se optó por una pendiente del 3%, que permitiera la filtración del agua lluvia a través del sustrato y la capa de drenaje y disminuyera la escorrentía, evitando a su vez el encharcamiento de la cubierta.

### 3.7. Determinación de las Variables de estudio

Las variables de estudio, debían permitir evaluar el desempeño de los sustratos a través de las condiciones de la especie vegetal implantada en ellos, en este caso del maní forrajero, para lo cual fue necesario realizar un seguimiento periódico, para la toma de datos y del registro fotográfico, estableciéndose como variables de estudio:

- **Cobertura:** Es el porcentaje en área en que se encuentra distribuida la capa o especie vegetal, es una de las variables determinantes en el desempeño térmico de una cubierta verde (Niachou 2001). Para la evaluación de esta variable se llevó a cabo el registro fotográfico de cada probeta a través del tiempo y se analizó por medio del software CobCal.
- **Altura:** Distancia vertical desde el suelo al punto más alto de la planta, aunque el desarrollo del maní forrajero es predominantemente rastrero, la altura es una de las variables comunes a evaluar en el desarrollo de una planta, por lo tanto se tuvo en cuenta en el desarrollo de la investigación.

- **Color:** Es la descripción del tono del follaje de la especie vegetal, permite establecer el normal desarrollo de una especie vegetal, cuando existe la presencia de hojas amarillentas puede establecerse o un problema de nutrientes o una deficiencia de nitrógeno, ya que cualquiera de estas dos condiciones puede afectar drásticamente a la planta.
- **Numero de Flores abiertas:** La flor es el órgano que sirve para la reproducción de las plantas, cuando existe una humedad continua el arachispintoi presenta una floración continúa, por lo cual se puede establecer que a mayor retención de agua en el sustrato, habrá un mayor número de flores en la probeta.

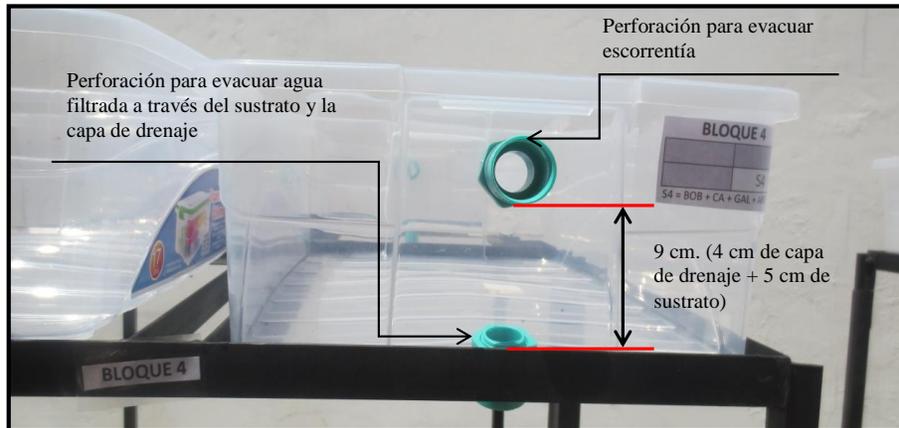
### 3.8. Construcción de las Probetas

Para la elaboración de las probetas, se utilizaron recipientes plásticos transparentes libres de BPA (Bisfenol A), para evitar residuos químicos en el agua recolectada provenientes del recipiente, que alteren la calidad del agua. En la figura 3.5, se aprecian los recipientes plásticos utilizados y sus dimensiones.



**Figura 3.5: Dimensiones de los recipientes usados para la construcción de las probetas**

El material de las probetas, permitió realizar el seguimiento visual de las diferentes capas a través del tiempo, lo que ayudo a la toma de datos, análisis y evaluación. Como se puede apreciar en la figura 3.6, a cada recipiente se le hicieron dos perforaciones, una en la parte inferior usada como sumidero para permitir la evacuación del agua filtrada a través del sustrato y la capa de drenaje, y la otra perforación ubicada a una altura de 9 cm., medidos desde el fondo de la probeta, con el fin de permitir la evacuación de agua lluvia de escorrentía.



**Figura 3.6: Perforaciones realizadas a las probetas para evacuación del agua**

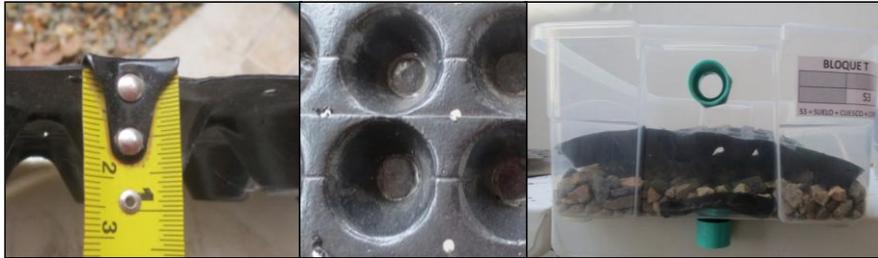
Se distribuyeron las 20 probetas, de acuerdo a lo dispuesto en el Grafico 3.1: Distribución de los Sustratos en cada Bloque

se rotularon y dispusieron en 5 bloques como se puede observar en la figura 3.7, cada bloque con capacidad de 4 probetas, permitiendo graduar la pendiente por parejas, por tanto todos los bloques se graduaron para proporcionar una pendiente del 3% a todas las probetas.



**Figura 3.7: Distribución de las probetas en los 5 bloques**

Una vez preparados los recipientes, se procedió a elaborar las probetas, en primer lugar se instaló la capa de drenaje, que en los bloques B1, B2, B3 y B4, consistió en una capa de 4 cm de espesor de GCR (Gránulos de Caucho Reciclado), para el BT (bloque testigo) la capa de drenaje consistió en la lámina Sika drenaje 32T, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo E, como se aprecia en la figura 3.8, el espesor de la lámina es de 2 cm, por lo que fue necesario colocar una capa de gravilla por debajo de la lámina, de manera que todas las plantas se encontraran a la misma altura dentro de la cubeta, es decir que estuvieran en igualdad de condiciones en todos los bloques.



**Figura 3.8: Instalación lamina Sika drenaje 32T en el bloque T**

En la figura 3.9, se aprecia la instalación de los 4 cm de capa de drenaje, el geotextil NT 1500 y los 5 cm de sustrato.



**Figura 3.9: Construcción de probetas**

Una vez preparadas las 20 probetas, se realizaron surcos en el sustrato, 3 en sentido longitudinal a las probetas y 4 en sentido transversal, como se puede observar en la figura 3.10, lo que permitió la localización de 12 puntos por cada probeta para la implantación mediante material vegetal del ArachisPintoi, por medio de estolones, la implantación se llevó a cabo el 8 de febrero.



**Figura 3.10: Instalación del ArachisPintoi como material vegetativo**

### 3.9. Toma de datos

Durante los primeros 15 días del establecimiento, la cobertura vegetal recibió suministro de agua, esto fue del 8 de febrero al 24 de febrero, a partir de esa fecha se suspendió el suministro de agua y las probetas se sometieron a las condiciones climatológicas. En el mes de marzo, se presentó poca precipitación, tal como se puede apreciar en la tabla de precipitación diaria suministrada por el ideam, ver anexo F, lo que ocasionó disminución de la cobertura, a partir del 1 de abril reinician las lluvias y se elabora formato para seguimiento periódico de la vegetación, el cual se encuentra en el anexo G.

Paródicamente, se realizó registro fotográfico de las probetas y se tomaron datos del desarrollo de la vegetación, en el formato diseñado para tal fin, teniendo en cuenta las siguientes variables:

- **Número de flores abiertas por probeta:** Se realizó el conteo manual de las flores abiertas en cada probeta.
- **Altura máxima y mínima por probeta:** Con ayuda del flexómetro, se midió la altura máxima y mínima de la especie vegetal, medida desde el nivel del sustrato.
- **Color:**El registro del color se realizó mediante observación visual, la cual fue realizada por la misma persona, con el fin de mantener el mismo criterio, fue necesario establecer la siguiente nomenclatura:
 

|      |   |                     |
|------|---|---------------------|
| VC   | : | Verde Claro         |
| V-VC | : | Verde – Verde Claro |
| V    | : | Verde               |
| V-VO | : | Verde-Verde Oscuro  |
| VO   | : | Verde Oscuro        |
- **Registro fotográfico:**Para la evaluación de la cobertura por medio del software Cobcal, era necesario registrar la superficie muestral, es decir las fotos debían ser tomadas desde arriba hacia abajo, por esta razón y con el fin de mantener las mismas condiciones, se estableció un procedimiento para la toma de las fotos, y procurando mantener una misma distancia focal, todas las fotos fueron tomadas por la misma persona, desde el mismo banco.

Capítulo 3: Aspectos Metodológicos

Se tenía previsto realizar la toma de datos, desde el momento de la construcción de las probetas, con el fin de tomar registro durante la temporada seca y terminarla a finales del mes de mayo, que corresponde al mes con mayor precipitación de acuerdo al registro histórico de la ciudad. Sin embargo el día 24 de mayo, se presentó una eventualidad externa que perjudicó el desarrollo de las probetas, convirtiéndose está en la fecha de finalización de la toma de datos.

## Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

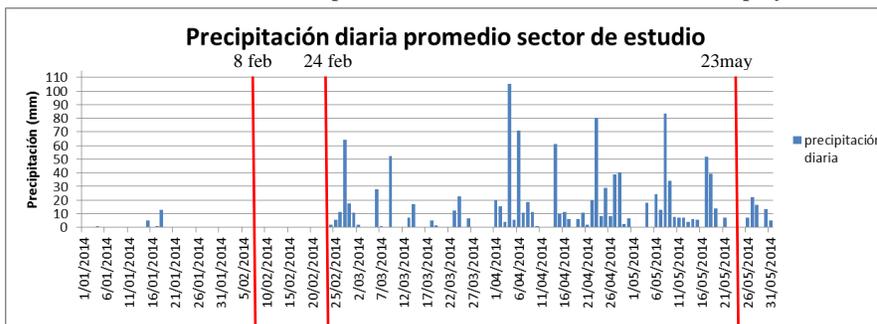
En este capítulo se presenta el análisis e interpretación de los datos tomados durante el desarrollo de la investigación, evaluando el comportamiento de la capa de drenaje, la cubierta vegetal y los sustratos expuestos a las condiciones climatológicas locales.

### 4.1. Desempeño de la Capa de drenaje evaluada

Los GCR locales presentan una conductividad hidráulica alta, lo cual permite un adecuado drenaje de las probetas, este factor es muy importante para este tipo de climas con altas precipitaciones, ya que una baja velocidad de infiltración en la capa de drenaje en cubiertas verdes de poca pendiente, ocasionaría aposamiento en el sustrato, que llevaría al pudrimiento de las raíces de la capa vegetal; los resultados de la evaluación de los GCR por medio del permeámetro de carga constante, fueron corroborados con el seguimiento de las probetas, lo cual permitió verificar que las probetas construidas con sustrato S4, que tiene una conductividad hidráulica alta, no se presentaron aposamientos de agua, mientras que las probetas construidas con los sustratos S2 y S3, que tienen conductividad hidráulica moderadamente baja y baja respectivamente, se presentaron aposamientos, asociados a las condiciones hidráulicas de los sustratos y no a los GCR.

En el gráfico 4.1., se presenta la precipitación diaria promedio de dos estaciones cercanas (ICA y Unillanos) al desarrollo del proyecto, tomando los datos desde enero hasta mayo de 2014, los cuales se muestran en el anexo F, como se puede observar se han identificado la fecha de implantación de la materia vegetal (8 de febrero), la fecha de suspensión de agua (24 de febrero) y la fecha de finalización de toma de datos (23 de mayo).

Grafico 4.1. Precipitación diaria local durante el desarrollo del proyecto



Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

Del grafico 4.1., se desprende que los GCR, fueron evaluados para las condiciones críticas de un drenaje, que corresponde a los meses con mayor precipitación en el año, sin que el desarrollo de la vegetación se viera afectado, tal como se podrá verificar en los numerales 4.2.2 y 4.2.3.

Para contrastar el desempeño de los GCR, se construyó el bloque testigo denominado BT, al cual como capa de drenaje se le instaló la lámina Sika drenaje 32T, como se puede apreciar en la figura 4.1., en el BT el desarrollo de la vegetación fue mucho menor que en los otro cuatro bloques en los cuatro sustratos evaluados.

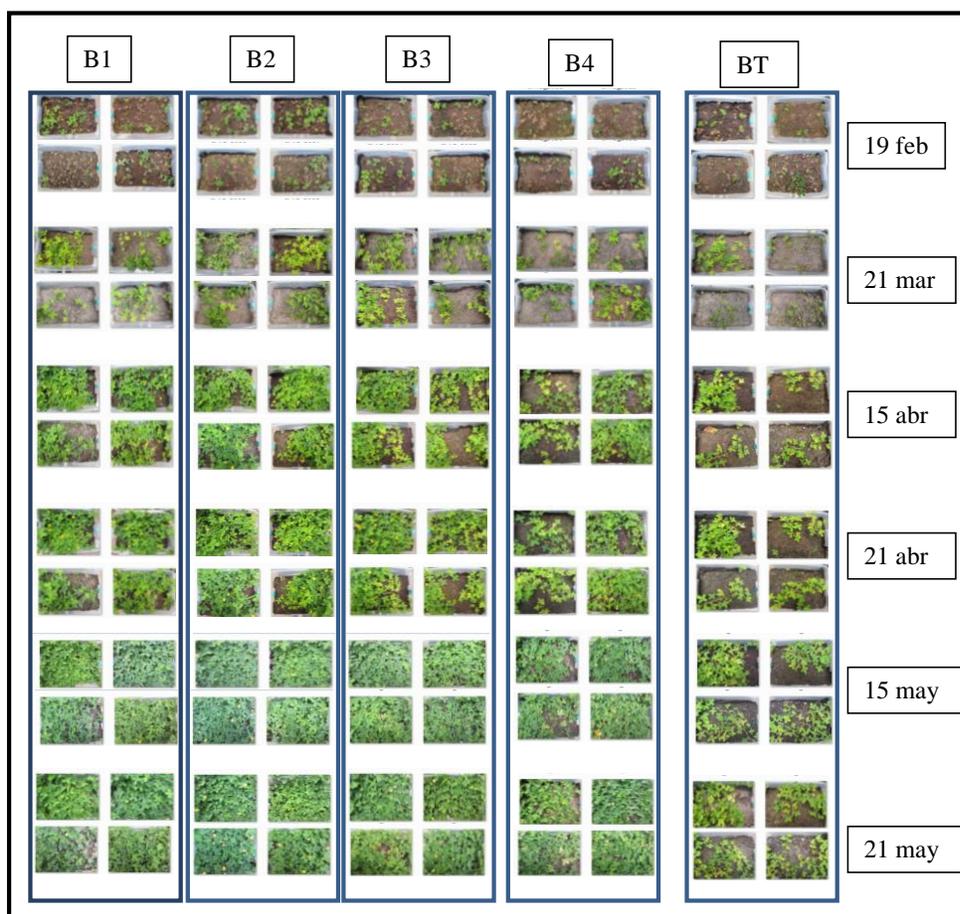


Figura 4.1:Matriz Bloques Vs Tiempo

El desarrollo de la vegetación en las variables evaluadas (cobertura, color, número de flores y altura) fue menor en el bloque T, que en los demás bloques, esto se puede apreciar en los gráficos 4.3, 4.5, 4.7, 4.9 y 4.10. Por tanto se concluye que el uso de GCR es una alternativa técnica y ambientalmente viable como capa de drenaje en cubiertas verdes extensivas ubicadas en climas cálidos húmedo con alta precipitación.

## 4.2. Desempeño de los Sustratos Evaluados

Evaluar un sustrato es una labor compleja, ya que son muchas las variables que intervienen: físicas, químicas, hidráulicas, ambientales e incluso la especie vegetal que se espera desarrollar; existen especies que se adaptan mejor endeterminadas condiciones específicas diferentes a otras especies, por este motivo para el desarrollo de esta investigación se dejaron fijos varios parámetros, uno de ellos es la especie vegetal y debido a que los cuatro sustratos evaluados presentaron diferencias en determinados parámetros físicos, hidráulicos y químicos, la evaluación de los mismos se centró en el desarrollo de la especie vegetal escogida (*ArachisPintoi*).

### 4.2.1. Dificultades en el desarrollo de la evaluación

En el desarrollo de la investigación, se presentaron algunas dificultades, que fue necesario solucionar para dar continuidad al desarrollo y toma de datos del proyecto.

- **Germinación de semillas de pasto presentes en la cascarilla de arroz:** El 20% del volumen del sustrato S1, es cascarilla de arroz cruda, lo que ocasionó que con el inicio de las lluvias las semillas de arroz que se encontraban en la cascarilla comenzaran a germinar. El maní forrajero (*ArachisPintoi*), es una leguminosa invasora de rápida cobertura, sin embargo en su establecimiento las malezas pueden constituir el principal problema para su adecuado desarrollo; por otra parte la proliferación del pasto de arroz, se estaba convirtiendo en un problema para la evaluación de la cobertura, la figura 4.2., muestra registro fotográfico de probetas del sustrato S1, como se evidencia el pasto presente en la probeta impedía una evaluación certera de la cobertura del maní, razón por la cual se decidió quitar el pasto manualmente para permitir el establecimiento y desarrollo adecuado del maní. Aunque el sustrato S4 tiene un porcentaje mayor de cascarilla de arroz (57%), no presentó el mismo comportamiento, debido a que tiene un procesamiento previo diferente, donde la

cascarilla de arroz es mezclada con la bobinaza y se permite la descomposición aeróbica de la mezcla durante un periodo de 6 meses evitando así la germinación de las semillas.

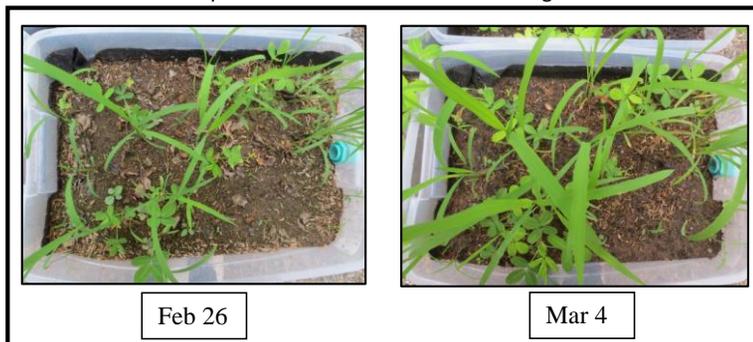


Figura 4.2: Germinación de semillas de arroz en el sustrato S1

- Sembrado de la cobertura vegetal en periodo de sequía:** La implantación de la materia vegetal se realizó el 8 de febrero, y se inició un periodo de riego por 15 días para lograr el establecimiento del maní forrajero, por lo que se suspendió el suministro de agua a partir del 24 de febrero, en el mes de marzo se presentó un periodo de baja precipitación como se puede evidenciar en el grafico 4.1, que ocasionó una baja de humedad en el sustrato y la disminución de la cobertura vegetal, como se puede apreciar en la figura 4.3., sin embargo a partir del 1 de abril retornaron las lluvias permitiendo que las plantas retoñaran y mejoraran su aspecto y cobertura.



Figura 4.3: Disminución de humedad en los sustratos por baja precipitación

Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

- Incoherencia de resultados arrojados por el software CobCal:**Una de las principales variables a evaluar en la especie vegetal utilizada en una cubierta verde es la cobertura, debido a su gran influencia en el confort térmico y en la disminución de la escorrentía superficial. Por lo que se decidió utilizar el software CobCal Versión 1.0, desarrollado en argentina, con el ánimo de mantener el mismo criterio a lo largo de la evaluación, se decidió que se establecerían los parámetros que se aprecian en la figura 4.4., precisión: alta, modo: modo 2 (RGB) y definición: media, ya que el software arrojaba un resultado coherente, por lo que se dio inicio a la evaluación del registro fotográfico.

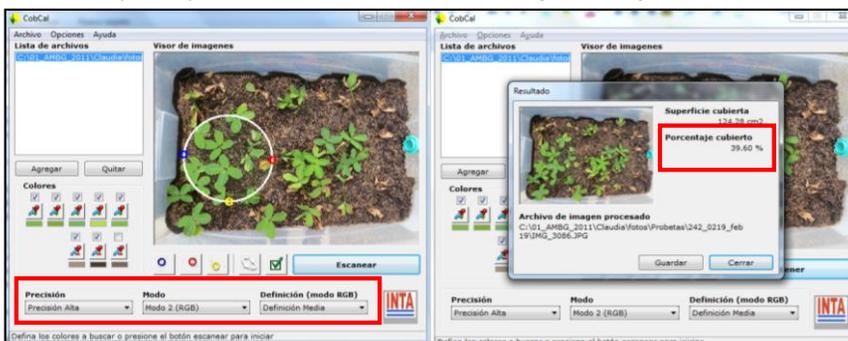


Figura 4.4:Parámetros iniciales para la evaluación de la cobertura

Sin embargo cuando la cobertura aumentó hacia mediados de abril (ver figura 4.1), los resultados del software se volvieron incoherentes con los parámetros seleccionados a inicios de la evaluación, tal como se aprecia en la figura 4.5.

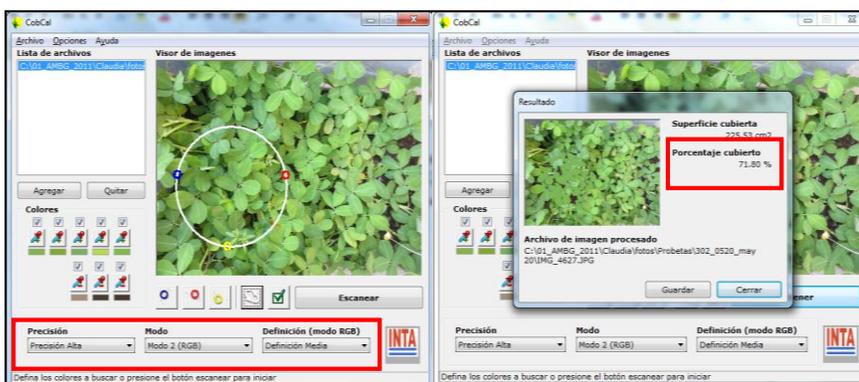


Figura 4.5:Resultados incoherentes de la evaluación cuando se presenta alta cobertura

Se determinó que la inconsistencia se debía a que cuando la cobertura es alta, hay presentes una gran variedad de tonos verdes, que no son cubiertos por las 5 opciones de selección de color que da el software, por lo que si la cobertura es alta, se debe seleccionar definición baja, que arroja resultados coherentes, ya que suma los tonos cercanos a los seleccionados, como se puede apreciar en la figura 4.6.

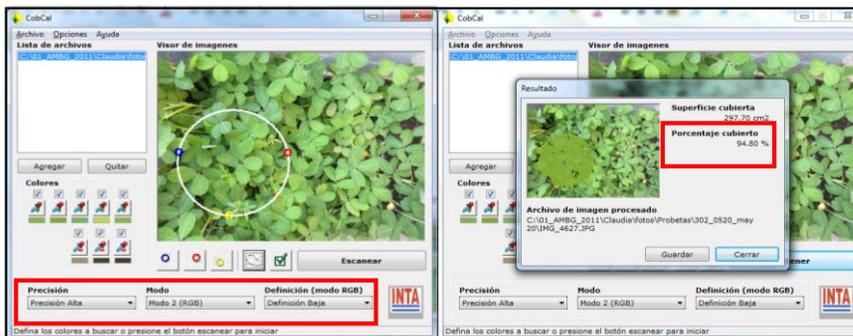


Figura 4.6:Resultados cambiando la definición con alta cobertura

- **Intoxicación de la cobertura por agente externo:**El día 24 de mayo en horas de la tarde las plantas fueron víctimas de un agente externo que produjo enroscamiento en las hojas y aspecto de mortandad en la cobertura vegetal. Como se aprecia en la figura 4.7., la cobertura vegetal se perdió en las probetas de los sustratos S1, S2 y S3, sin embargo el sustrato S4, presentó condiciones que favorecieron la cobertura vegetal, afectando en menor grado al maní forrajero, esa fue una situación común en todos los bloques como se puede apreciar en el anexo H.

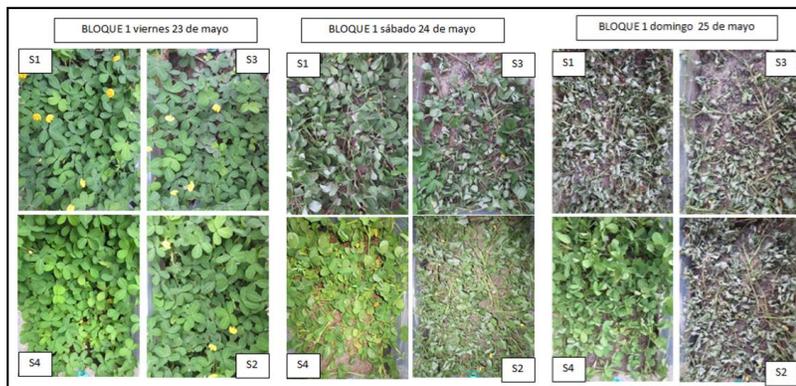


Figura 4.7:Estado de la cobertura vegetal antes y después de la intoxicación

Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

Con la asesoría de investigadores de Corpoica, se procedió a realizar diferentes clases de estudios para establecer las posibles causas de la mortandad del maní forrajero, mediante ensayos químicos a los sustratos S1 y S4 y estudios fitopatológicos a los sustratos y a la materia vegetal, cuyos resultados se encuentran en el anexo H. Los resultados fitopatológicos arrojaron la presencia de hongos y bacterias, pero no se logró establecer que fueran la causa de la mortandad, por otra parte en al comparar los ensayos químicos iniciales con los tomados después del 24 de mayo, se evidenció que aumentaron los contenidos de los siguientes elementos: Aluminio, Cobre, Hierro, Zinc, Boro y Azufre, de igual forma se ve que el pH bajo y los sustratos quedaron ácidos, como puede observarse en la tabla 4.1., por lo que se concluye que el daño en la cobertura vegetal, fue producto de una intoxicación, posiblemente por la aplicación de algún tipo de herbicida.

**Tabla 4.1: Comparación resultados químicos iniciales y finales**

| ENSAYOS QUÍMICOS INICIALES          |                 |                   |        |        |        |                          |       |      |      |      |      |        |                |        |      |       |              |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------------------------|-------|------|------|------|------|--------|----------------|--------|------|-------|--------------|
| Muestra Lab. No.                    | Ident. de campo | Text. Tacto       | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES meq/100g suelos |       |      |      |      |      |        | CATIONES (ppm) |        |      |       | CIC Meq/100g |
|                                     |                 |                   |        |        |        | Al                       | Ca    | Mg   | K    | Na   | Cu   | Fe     | Mn             | Zn     | B    | S     |              |
| 309                                 | S1              | AF                | 1.9    | 87.6   | 6.0    | 0.20                     | 10.10 | 1.00 | 1.80 | 1.30 | 1.65 | 54.38  | 21.88          | 2.45   | 0.46 | 142.6 | 15.0         |
| 310                                 | S2              | AF                | 2.2    | 117.8  | 6.1    | 0.25                     | 11.25 | 0.01 | 1.63 | 1.20 | 1.40 | 41.25  | 28.13          | 2.35   | 0.40 | 151.6 | 8.0          |
| 311                                 | S3              | AF                | 2.1    | 117.8  | 6.3    | 0.40                     | 10.35 | 1.15 | 1.68 | 1.33 | 1.50 | 43.13  | 16.88          | 2.65   | 0.51 | 156.3 | 15.0         |
| 312                                 | S4              | Material Orgánico | 16.4   | 243.0  | 7.3    | 0.30                     | 13.75 | 3.13 | 3.07 | 0.42 | 2.05 | 143.13 | 62.5           | 19.38  | 1.52 | 11.96 | 46.0         |
| 313                                 | Miga caucho     | Material inerte   | 14.4   | 7.1    | 6.8    | 0.05                     | 1.85  | 0.10 | 0.05 | 0.09 | 0.15 | 6.25   | 0.65           | 140.62 | 0.42 | 41.64 | 6.0          |
| ENSAYOS QUÍMICOS 9 de Junio de 2014 |                 |                   |        |        |        |                          |       |      |      |      |      |        |                |        |      |       |              |
| Muestra Lab. No.                    | Ident. de campo | Text. Tacto       | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES meq/100g suelos |       |      |      |      |      |        | CATIONES (ppm) |        |      |       | CIC Meq/100g |
|                                     |                 |                   |        |        |        | Al                       | Ca    | Mg   | K    | Na   | Cu   | Fe     | Mn             | Zn     | B    | S     |              |
| 309                                 | S1              |                   | 1.20   | 58.8   | 4.8    | 5.6                      | 3.44  | 0.56 | 0.23 | 0.03 | 2.55 | 85.62  | 46.25          | 4.80   | 4.80 | 90.46 |              |
| 312                                 | S4              |                   | 32.5   | 166.7  | 4.3    | 10.4                     | 11.73 | 3.60 | 0.24 | 0.05 | 3.80 | 260.0  | 15.87          | 52.50  | 2.61 | 72.37 |              |

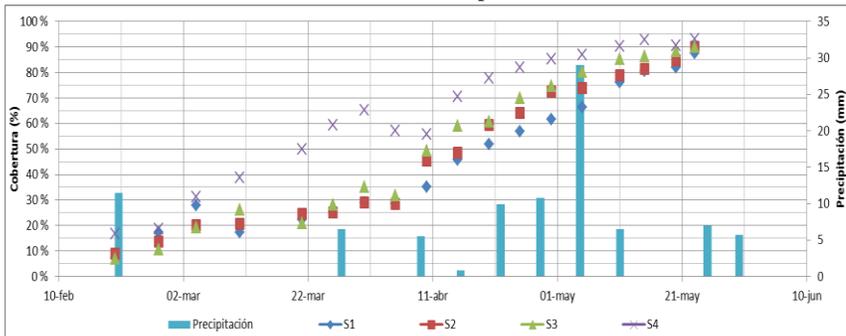
**4.2.2. Cobertura de la Vegetación**

Para analizar la cobertura, se dividió cada probeta en dos partes una parte correspondiente al área que se encuentra cerca al drenaje y la otra parte que se encuentra lejos del drenaje, se realizó la evaluación con ayuda del software CobCal, de acuerdo a las condiciones establecidas en el numeral 4.2.1, los resultados se encuentran en el anexo I, se promediaron los dos datos de cobertura de cada probeta y se evaluó la cobertura por sustratos y por bloques. Como se aprecia en el grafico 4.2, el porcentaje de cobertura en todos los sustratos fue en general ascendente, los sustratos S1, S2 y S3, muestran un

Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

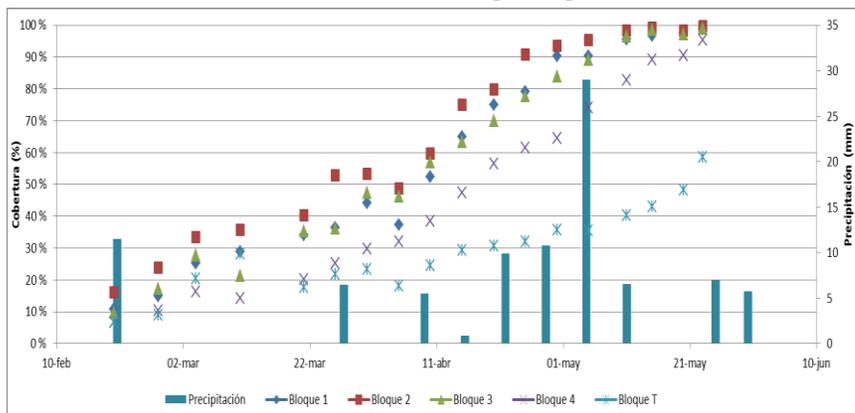
porcentaje de cobertura muy similar, pero un estancamiento asociado a la poca precipitación del mes de marzo, a diferencia del sustrato S4, continuó aumentando la cobertura a pesar de la poca precipitación, en general el aumento de la cobertura está asociado con el aumento de las lluvias.

**Gráfico 4.2. Cobertura por Sustratos**



El gráfico 4.3., muestra el análisis de cobertura por bloques, como puede observarse los bloques B1, B2 y B3, presentaron un comportamiento de cobertura similar, siendo el B2 el que mayor porcentaje de cobertura obtuvo a lo largo del tiempo, en cambio los bloques B4 y BT, presentan una pendiente de cobertura mucho menor, siendo el BT el que menor cobertura presentó a lo largo de la investigación.

**Gráfico 4.3. Cobertura por Bloques**

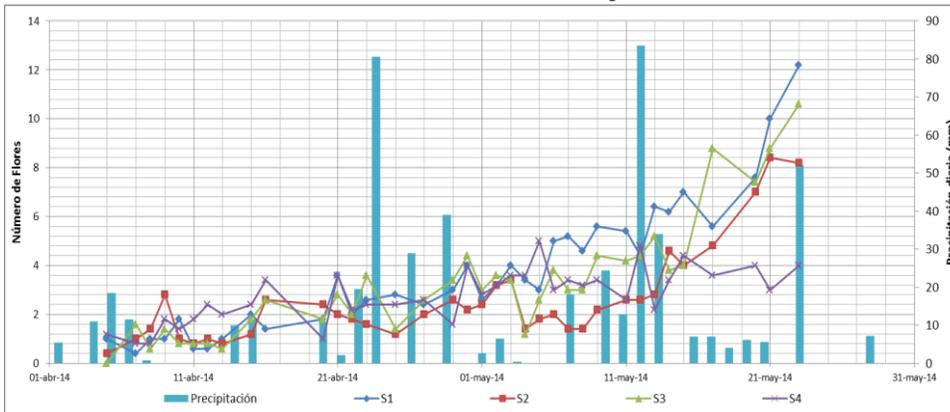


### 4.2.3. Color y Cantidad de flores

- **Cantidad de Flores abiertas**

La floración del arachispintoi, inicia en la época lluviosa, si existe suficiente humedad en el suelo, presenta una floración continua, por tanto, el número de flores aumenta cuando la humedad del sustrato es mayor, debido a que todos los sustratos se encontraban bajo las mismas condiciones climatológicas, es de suponer que el mayor número de flores en un sustrato está relacionado con la mayor capacidad de retención de humedad del mismo, bajo este análisis y observando el grafico 4.4., elaborado con los datos de cantidad de flores abiertas que se encuentra en el anexo J, se puede concluir el sustrato S1 es el que tiene mayor capacidad de retención de humedad; se estableció que los sustratos S1, S2 y S3, presentaron una mayor tendencia al aumento del número de flores, a diferencia del sustrato S4 que presenta una tendencia a ser constante; de manera general, el número de flores fue aumentando con el paso del tiempo en todos los sustratos. En todos los sustratos se evidencia una disminución del número de flores asociada a la disminución de la precipitación.

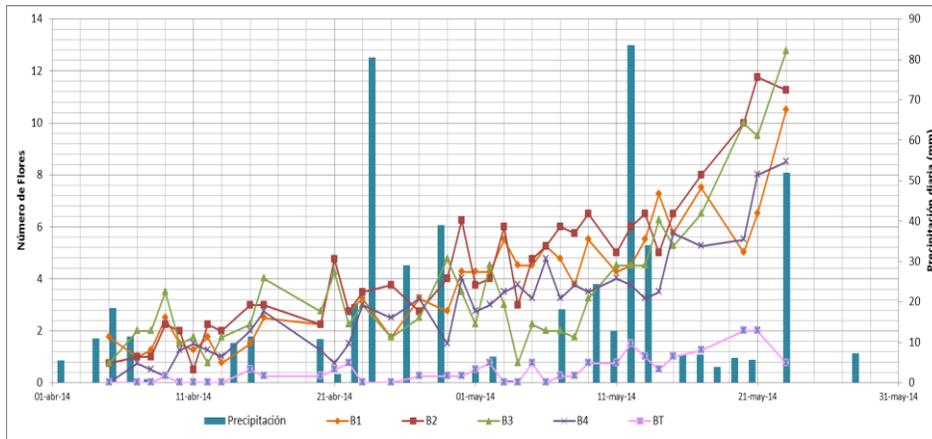
**Grafico 4.4. Número de flores por Sustrato**



En el grafico 4.5., se analiza, el número de flores por bloque, encontrándose que los bloques B1, B2, B3 y B4, presentan tendencia positiva al aumento de numero de flores con el paso del tiempo, a diferencia del desarrollo que presenta el bloque testigo (BT), que presenta un número de flores mucho menor a los otros bloques y una tendencia a ser constante, lo que lleva a concluir que el bloque BT, tiene menor capacidad de retención de humedad que los demás bloques, por lo que estaría directamente relacionado a la capa de drenaje, que es el único parámetro diferente a los

demás bloques, por tanto el uso de GCR como capa de drenaje en cubiertas verdes, ayuda a una mayor retención de humedad en el sustrato, que la que ofrece la lámina Sika drenaje 32T.

**Grafico 4.5. Número de flores por Bloque**



La disminución del número de flores en todos los bloques está relacionada con la disminución de la precipitación.

- **Color de la cobertura Vegetal**

Para cuantificar la apreciación visual, se dio una escala de 1 a 5, como se relaciona en la tabla 4.2., estos datos fueron tabulados y se encuentran en el anexo K, el gráfico 4.6, muestra la clasificación del color de la cobertura vegetal por sustrato, del que se puede concluir que .

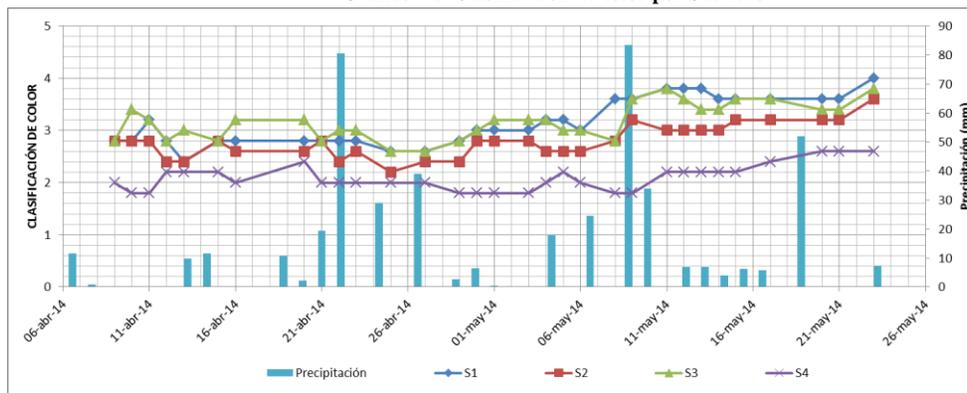
**Tabla 4.2: Cuantificación del color para evaluación**

| CLASIFICACIÓN DEL COLOR |                      |   |
|-------------------------|----------------------|---|
| VC                      | VERDE CLARO          | 1 |
| V-VC                    | VERDE - VERDE CLARO  | 2 |
| V                       | VERDE                | 3 |
| V-VO                    | VERDE - VERDE OSCURO | 4 |
| VO                      | VERDE OSCURO         | 5 |

En general los cuatro sustratos presentan una levetendencia a mejorar a través del tiempo. Se observó que los sustratos S1, S2 y S3 presentan un aspecto físico similar clasificado en un término medio (cercano al verde), a diferencia del sustrato S4 que tiene condiciones físicas menores (entre verde y verde claro).

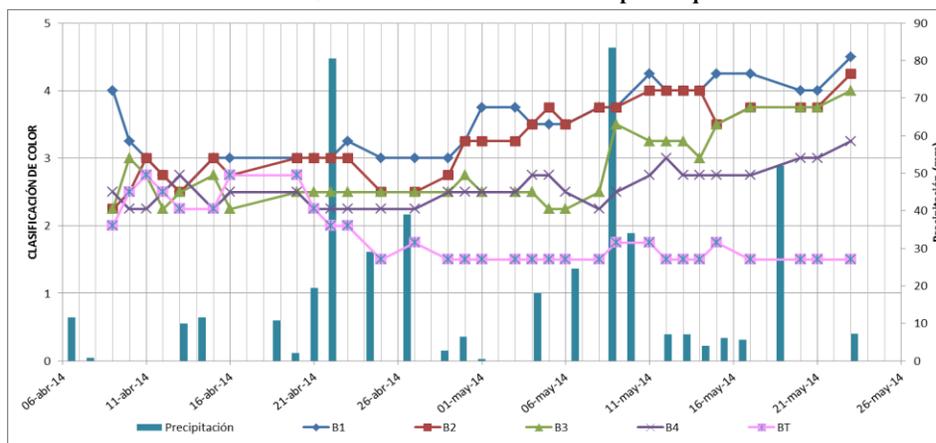
Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

Grafico 4.6. Clasificación de color por Sustrato



En general no se observa una relación directa del color de la cobertura con respecto a la precipitación.

Grafico 4.7. Clasificación de color por Bloque

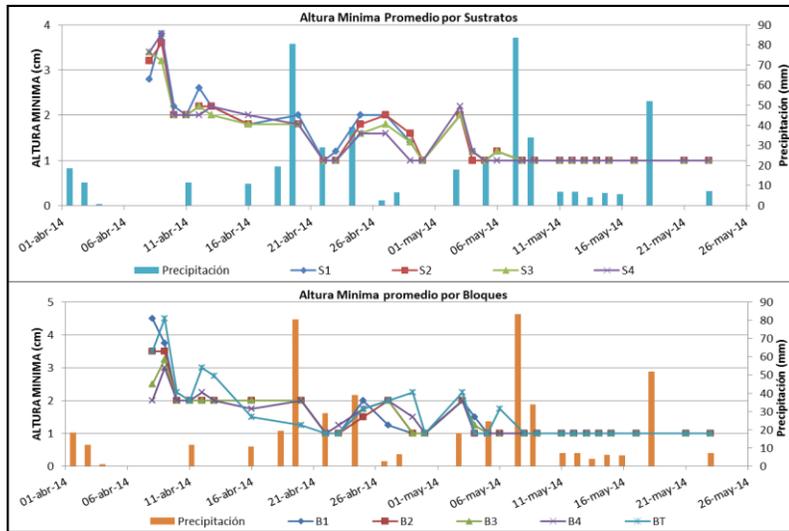


Como se observa en el grafico 4.7., los bloques B1, B2, B3 y B4, presentan una leve tendencia a mejorar con el tiempo, a diferencia del BT, a que luego de un tiempo de su implantación, comenzó a presentar un aspecto desfavorable de color, estabilizándose en un tono cercano al verde claro, posiblemente podría estar relacionado con una menor retención de humedad en el bloque.

#### 4.2.4. Mantenimiento

Una de las variables más importantes en todo proyecto es el mantenimiento durante la vida útil del mismo, en las cubiertas verdes, el mantenimiento más relevante está relacionado con la cobertura vegetal, como esta investigación estableció como parámetro fijo el uso del Arachispintoí como cobertura vegetal, se estableció la relación de los diferentes sustratos evaluados con el mantenimiento que requerían, pesando la materia vegetal retirada durante la poda, de igual forma se realizó seguimiento, a las alturas mínimas y máximas de cada probeta, las tablas de datos se encuentran en el anexo L. En el gráfico 4.8., se observan las alturas mínimas promedio por sustrato y por bloque

Grafico 4.8. Alturas mínimas por sustrato y por bloque

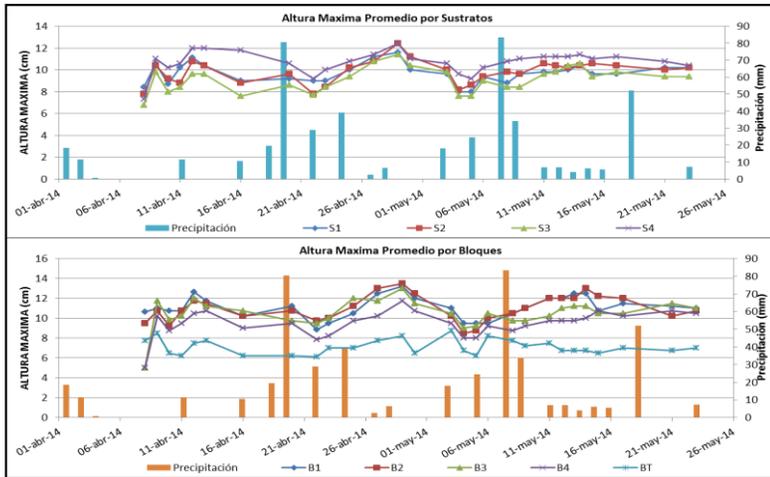


La altura mínima promedio por sustratos y por bloques presenta la misma tendencia, al inicio de su establecimiento el Arachispintoí tiende a buscar altura, una vez aumenta su cobertura comienza a desarrollarse como rastrera, no se observa una relación clara entre la altura mínima y la precipitación.

En el gráfico 4.9., se observa que la altura máxima promedio por sustratos y por bloques tiende a estabilizarse a través del tiempo, no se observa afectación relevante producida por las podas que fueron realizadas el primero y el 20 de mayo. Los cuatro sustratos tienen un comportamiento similar en el tiempo, siendo el S4 el que mayor altura presentó y el S3 el sustrato que menor altura

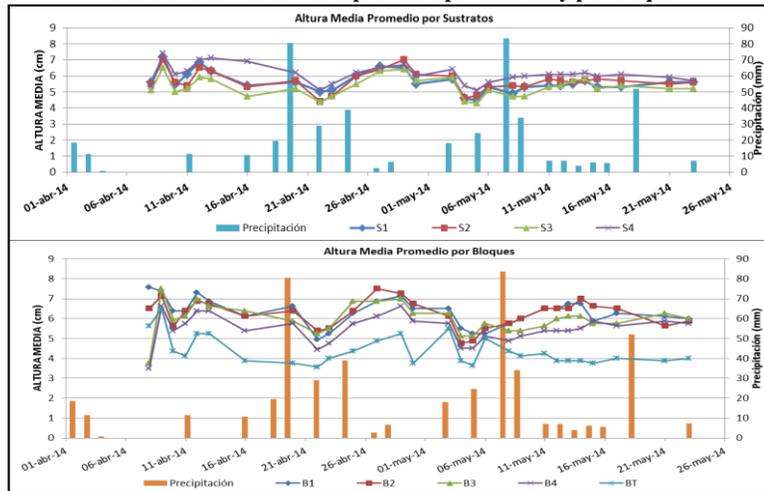
presentó; del análisis por bloques, se observa con claridad que el bloque BT es el que menor altura presentó a lo largo del tiempo. No se observa una relación clara entre la altura máxima y la precipitación diaria.

**Gráfico 4.9. Alturas máximas por sustrato y por bloque**



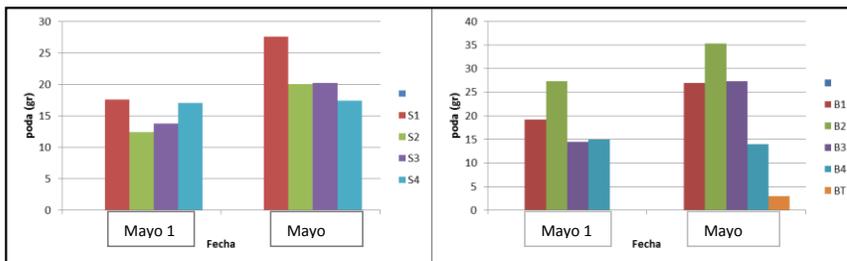
Como se aprecia en el gráfico 4.10., la altura media promedio es similar en todos los sustratos y presentan tendencia a estabilizarse a través del tiempo. La altura media promedio por bloques tiende a estabilizarse a través del tiempo, sin embargo se evidencia que el bloque BT, presenta una altura menor a los demás bloques.

**Gráfico 4.10. Altura media promedio por sustrato y por bloque**



Durante el desarrollo de la investigación se realizaron dos podas una el primero de mayo y la otra el 20 de mayo, tomándose el peso en gramos de la poda en cada probeta, como se aprecia en el grafico 4.11., el sustrato S1 fue el que más poda requirió en las dos fechas; el bloque BT fue el que menos poda requirió en las dos fechas.

**Grafico 4.11. Peso de las podas realizadas por Sustrato y por Bloque**



### 4.3. Limitaciones de la Investigación

Dentro del desarrollo de la investigación, se encontraron algunas limitaciones en el tiempo y la evaluación de la información. Como ya se expuso, la construcción y sembrado de las probetas se realizó el 8 de febrero, recibiendo riego para su implantación hasta el 24 de febrero, por lo que soportaron menos de un mes y medio el periodo de tiempo seco, durante este periodo comprendido entre el 24 de febrero y el primero de abril, la cobertura disminuyó y causo la mortandad de algunas plantas, por tanto esta investigación no alcanza a determinar si es o no necesaria la instalación de un dispositivo de riego que cubra las necesidades hídricas de las plantas durante los cuatro meses del periodo seco entre diciembre y marzo, lo cual podría ser objetivo de estudio de trabajos futuros.

Otra de las limitaciones está relacionada con la evaluación de la información, como ya se expuso en el numeral 4.2.1., para la evaluación de la cobertura se utilizó el software CobCal, cuyo manual se encuentra en el anexo M, el cual es una herramienta para la evaluación de cobertura por medio de fotografía digital, sin embargo se evidenció que los resultados que arroja, están limitados al criterio de opciones de escaneo y selección de colores que escoja el evaluador para cada foto, por tanto y a pesar de realizarlo la misma persona, los resultados pudieran no ser totalmente objetivos.

La consolidación natural del sustrato a través del tiempo, debido al reacomodo de las partículas finas y al paso del agua lluvia a través de él, ocasiona la disminución de su conductividad

hidráulica, prueba de esta situación se puede apreciar en la tabla de resultados de los ensayos hidráulicos, que se encuentra en el anexo C, donde se evidencia que bajo los mismos parámetros, cada vez que se hacía pasar el agua por el permeámetro, el tiempo del ensayo aumentaba, por lo que se decidió tomar 4 tiempos y promediarlos, sin embargo queda la limitante del cambio de permeabilidad del sustrato a través del tiempo.

Aunque podría pensarse que la intoxicación de la que fueron víctimas las probetas, es una limitante para el uso de cubiertas verdes, se descarta como una limitante, ya que en menos de 10 días y sin ninguna intervención externa, el *ArachisPintoi* inició su recuperación, alcanzando una recuperación total al mes de la intoxicación, tal y como puede apreciarse en la figura 4.8.

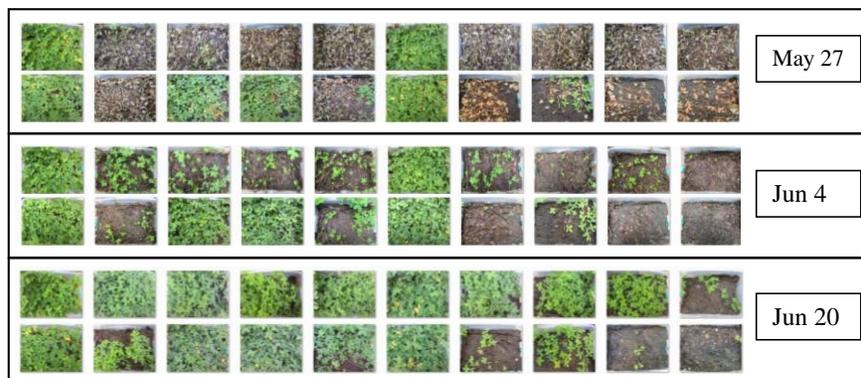


Figura 0.8: Recuperación de la cobertura después de la intoxicación

#### 4.4. Validación de resultados

Se realizó una revisión y recopilación bibliográfica que permitió obtener la información necesaria, se buscó personal de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, quienes asesoraron la planeación y el diseño experimental, que incluyó la realización de cuatro repeticiones por sustrato, parámetro que permite dar confiabilidad a los resultados encontrados, aunado a la distribución de los sustratos en cada bloque, que permite evitar el sesgo de los resultados por la posición de cada sustrato dentro del bloque.

Se llevaron a cabo ensayos estandarizados para la determinación de parámetros físicos, químicos e hidráulicos de los sustratos, bajo la normatividad vigente. Se llevó a cabo la toma de registro fotográfico y datos periódicamente que permitieron la evaluación de las variables en el tiempo. Cada una de las variables analizadas, fue contrastada con los datos de precipitación diaria oficial

entregada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), para la época del proyecto, lo que permite dar confiabilidad a las evaluaciones realizadas.

Aunque el proyecto fue llevado a cabo en la ciudad de Villavicencio, se involucraron materiales de fácil consecución en climas cálidos húmedos, por lo que las conclusiones obtenidas en el presente estudio, son aplicables en cualquier ciudad con características climatológicas similares.

#### **4.5. Futuras líneas de Investigación**

En la región, el uso de cubiertas verdes es incipiente, por lo que la investigación en este sistema de cubierta abarca una amplia gama de alternativas:

- Estudio de la calidad del agua lluvia recolectada a través de su paso por medio de cubiertas verdes extensivas.
- Diseño y evaluación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias recolectadas por medio de cubiertas verdes en clima cálido húmedo.
- Evaluación de diferentes pendientes y su influencia en el aprovechamiento de aguas lluvias por medio de cubiertas verdes.
- Relación del cambio de temperatura interna con el espesor del sustrato en cubiertas verdes para clima cálido húmedo.
- Análisis de ciclo de vida de cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo.
- Análisis económico comparativo para diferentes tipos de resultados.

#### **4.6. Hallazgos de la Investigación**

Los resultados obtenidos durante la investigación permiten establecer que se pueden fomentar e implementar sistemas de cubiertas verdes extensivas en climas cálidos húmedos involucrando materiales de desecho, como lo son la cascarilla de arroz y los gránulos de caucho reciclado. El uso de materiales de desecho en el sustrato y en la capa de drenaje incrementa los beneficios ambientales del sistema de cubiertas verdes, ya que

## Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

involucra los beneficios asociados al sistema, sumados a los beneficios obtenidos por dar un uso alternativo a materiales de desecho. La cascarilla de arroz es un subproducto de la producción de arroz, que por su baja densidad se acumula en grandes volúmenes y en ocasiones termina contaminando las fuentes hídricas naturales. Cuando una llanta cumple su ciclo de servicio, es desechada y generalmente es llevada a los botaderos de basura sin ningún tipo de proceso, esto genera que dentro de sus paredes se acumule agua lluvia que sirve de criadero de vectores biológicos incrementando el riesgo de enfermedades tropicales como el dengue, la malaria y el cólera; si las llantas son quemadas para combustión de hornos emite al aire contaminantes como el Dioxido y el Monoxido de Carbono, por estas razones el reciclado de llantas es una práctica que trae beneficios ambientales de gran connotación, este proceso de trituración da como resultado el acero de refuerzo y los gránulos de caucho de llantas recicladas (GCR) que disminuyen el volumen del desecho y permiten su utilización en diferentes proyectos. La evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas de los GCR permitieron establecer su óptimo desempeño como capa filtrante, comprobadas de forma experimental por medio de probetas.

La baja densidad de la cascarilla de arroz y de los GCR, permite lograr sistemas de cubiertas verdes extensivas de bajo peso por metro cuadrado, entre 30 y 100 Kg/m<sup>2</sup> dependiendo su porcentaje de saturación y la proporción de cascarilla de arroz en el sustrato, por tanto los incrementos asociados al reforzamiento de la estructura de las viviendas y la implementación del sistema, son relativamente bajos y de pronta recuperación, frente a los beneficios ambientales obtenidos por este sistema de cubiertas, como lo son aislamiento térmico y acústico, disminución escorrentía superficial, mejoramiento de la calidad del aire, disminución del efecto isla de calor, entre otros.

Ciudades con clima cálido húmedo ubicadas en zonas tropicales, presentan altas temperaturas. Villavicencio cuenta con una temperatura que oscila entre 20.2°C y 39.1°C, por lo que implementar un sistema de cubiertas verdes que sirven de aislamiento térmico, mejora el confort térmico al interior de las viviendas mejorando la calidad de vida de sus habitantes y disminuyendo el consumo energético por la disminución de ventiladores eléctricos y aires acondicionados.

Capítulo 4. Análisis y Evaluación de Resultados

Las altas precipitaciones que se presentan en la ciudad, ocasionan el colapso de los sistemas de alcantarillado, los sistemas de cubiertas verdes disminuyen la escorrentía superficial y aumentan el tiempo de llegada a los sistemas de drenaje, lo que permite la reducción de los diámetros de los sistemas de alcantarillado.

Los sistemas de cubiertas verdes extensivas proporcionan grandes beneficios ambientales, pueden ser implementados en climas cálidos húmedos y permiten la reutilización de materiales de desecho.

## Conclusiones

Al término de este trabajo de investigación, puede señalarse que la hipótesis planteada, pudo ser validada, concluyendo que el uso de materiales de desecho en el sustrato y la capa de drenaje de cubiertas verdes extensivas, es una alternativa ambientalmente viable, que permite un desarrollo adecuado de cobertura y aspecto físico de la vegetación, en ciudades con clima cálido húmedo.

A partir de los resultados logrados y en forma concluyente, puede señalarse:

- Los Gránulos de Caucho Reciclado (GCR), presentan una conductividad hidráulica alta permitiendo un adecuado funcionamiento como capa de drenaje en cubiertas verdes extensivas en clima cálido húmedo con alta precipitación, convirtiéndose en una alternativa al empleo de llantas en desuso, lo cual conlleva a la obtención de beneficios ambientales y sanitarios.
- Las variables evaluadas sobre el desarrollo de la cobertura vegetal en los cuatro bloques donde se utilizó como capa de drenaje los GCR, presentaron un mejor desempeño en comparación con el bloque testigo (BT), al cual se le instaló como capa de drenaje la lámina Sika drenaje 32T, lo cual permite establecer que las propiedades físicas de los GCR permiten una mayor retención de humedad en el sustrato, lo que conlleva a mejores condiciones para la especie vegetal instalada.
- Los tres materiales de desecho agrícola, involucrados en el estudio: la cascarilla de arroz (CA), la cascarilla de arroz tostada (CAT) y el cuesco de palma africana (cuesco), utilizados en el diseño de los sustratos, permiten un desarrollo similar de la cobertura, color, número de flores y altura del *Arachis pintoi*, mejoran la textura de un suelo común de excavación, logrando sustratos más ligeros, de menor peso por metro cúbico y mayor conductividad hidráulica.
- La cascarilla de arroz cruda (CA), logra mejores condiciones de permeabilidad que la CAT y el cuesco, ya que los sustratos elaborados con este desecho del arroz (S1 y S4), presentaron una conductividad hidráulica moderadamente alta, razón por lo que debiera esperarse su adecuado desempeño dentro de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias por medio de cubiertas verdes.

Conclusiones

- El uso de cascarilla de arroz cruda, trae como consecuencia la germinación de algunos granos de arroz entero o partido que vienen dentro de ella, lo que genera la formación de algunas malezas, las cuales se pueden eliminar a mano luego de la implantación de la cobertura vegetal o previamente mediante un proceso de fermentación, el cual puede ser por humedecimiento previo o mediante la mezcla con bobinaza, como se le realizó a la CA utilizada en el sustrato S4.
- Aunque el desempeño en el desarrollo de la cobertura vegetal fue similar en los sustratos S1, S2 y S3, la conductividad hidráulica de los sustratos S2 y S3, disminuye las posibilidades de su uso dentro de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a través de sistemas de cubiertas verdes.
- En un lapso de tres meses el Arachis Pinto, alcanzó un porcentaje de cobertura mayor al 80%, en todos los sustratos, lo que evidencia que es una especie vegetal con buena adaptabilidad y óptimas condiciones, aunado al hecho de presentar una rápida recuperación ante la acción de agentes externos, lo que permite usarlo con confianza como especie vegetal en cubiertas verdes extensivas.
- Finalmente puede señalarse que este trabajo de tesis, entrega un importante aporte a la disciplina del hábitat sustentable, en términos de evaluar la factibilidad del uso de residuos alternativos en cubiertas verdes extensivas en climas cálidos húmedos, promoviendo este sistema constructivo que ha demostrado en investigaciones a nivel mundial, la obtención de beneficios ambientales entre los que se cuenta: contribución al ahorro energético, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, disminución de la escorrentía superficial y del efecto isla de calor en zonas urbanas; todo lo anterior aunado al reciclado de materiales en desuso y el aprovechamiento de desechos agrícolas.

## Referencias bibliográficas

- ALEXANDER. C. Notes on the Synthesis of Form. Cambridge, Mass., Harvard University Press. 1964. 196 p.
- Atlas Climatológico de Colombia, Parte III, Aspectos departamentales, Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, pagina 169. 2005.
- BIANCHINI Fabricio, HEWAGE Kasun. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. Building and Environment 48 :57-65, feb. 2012.
- BIANCHINI Fabricio, KASUN Hewage. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs : A lifecycle approach. Building and Environment 58 :152-162, dic. 2012.
- BURÉS Pastor, Silvia. Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, arboles ornamentales y viveros :extra 1: 70 – 78, 2002.
- C.Y Jim. Heat-sink effect and indoor warming imposed by tropical extensive green roof. Ecological Engineering 62: 1-12, ene. 2014.
- DOMINGUEZ J., Aira M., Gomez-Brandon M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de materia orgánica.
- GABRIELS Donald, LOBO Deyanira, PULIDO Mansonia. Metodos para determinar la Conductividad Hidráulica Saturada y no Saturada de los Suelos. Venezuela 14 (1):7-22, 2006.
- IBÁÑEZ Gutiérrez, Ricardo Andrés. Techos vivos extensivos: una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Alarife; Revista de Arquitectura (16): 24-38 ,2008.
- IPCC. Resumen para Responsables de Políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I, al quinto informe de evaluación del grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M., Midgley (eds.)).

Referencias bibliográficas

- Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- JARAMILLO, Daniel F. Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ciencias, 2002. 613p.
  - JUÁREZ Badillo, Eulalio y RICO Rodríguez, Alfonso. Mecánica de suelos, tomo I, fundamentos de la mecánica de suelos. 3ª ed. México, Editorial Limusa, 1990. 642p.
  - JUN Yang, QIAN Yu, PENG Gong. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment 42(31) : 7266 – 7273, oct. 2008.
  - KOSAREO Lisa, RIES Robert. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. Building and Environment 42 (7): 2606-2613, jul. 2007.
  - LEITON, Juan Santiago. Riego y drenaje. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1985. 177p.
  - MINKE, Gernot. Techos verdes, planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo, Uruguay, Fin de siglo, 1992. 86p.
  - MOLINEUX Chloe, FENTIMAN Charles, GANGE Alan. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K. Ecological Engineering. 35, 2009.
  - NAVAS. G, BERNAL. J, Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del piedemonte llanero y altillanura plana Colombiana. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), regional B. 1999. 46 p.
  - NIACHOU A., PPAKONSTANTINO K., SANTAMOURIS M., TSANGRASSOULIS A., MIHALAKAKOU G. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings 33(7): 719-729, sep. 2001.
  - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Estudio FAO Riego y drenaje - Materiales de drenaje subterráneo. Roma. 2009.

Referencias bibliográficas

- OULDBOUKHITINE Salah, BELARBIRafik, MARINERO David. Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. AppliedEnergy 114 : 273-282, feb. 2014.
- PALOMO Del Barrio, Elena. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings 27 (2) : 179-193, 1998.
- PÉREZ Gabriel, VILLA Anna, RINCÓN Lidia, SOLÉ Cristian, CABEZA Luisa F. Use of rubbercrumbs as drainage layer in Green roofs as potencialenergyimprovementmaterial. Applied Energy. 97: 347-354, sep. 2012.
- PRADA Abelardo, CORTÉS Caroll. La descomposición térmica de la Cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral. Orinoquia 14:155-170, abr. 2010.
- QUINTERO María Fernanda, GUZMANJose Miguel, VALENZUELA Juan Luis. Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthuscaryophyllus* L.). Revista Colombiana de ciencias HortículasVol 6 No. 1 p. 76-87, 2012. Universidad de Almería (España).
- RINCÓN Lidia, COMA Julia, PÉREZ Gabriel, CASTELL Albert, BOERDieter, CABEZA Luisa F. Environmental performance of recycledrubber as drainagelayer in extensivegreenroofs. A comparative life cycle assessment. Building and Environment. Available online 13 January 2014.
- SÁNCHEZ, Javier. Ley de Darcy. Conductividad Hidraulica, Departamento de geología, Universidad de Salamanca, España, feb. 2013, <http://hidrologia.usal.es>
- TEEMUSK Alar, MANDERUlo. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof : the effects of short-term events. Ecological Engineering 30(3) : 271-277, jul. 2007.
- VALVERDE Agustin, SARRIA Bienvenido, MONTEAGUDO José. Analisis Comparativo de las CaracterísticasFisicoquimicas de la Cascarilla de Arroz. Scientia et Technica 37: 255-260, 2007.

Referencias bibliográficas

- VIDAL, Ma. Eugenia. Informe anual, Programa Biodiversidad en Cubiertas verdes, Dirección general de estrategias ambientales, agencia de protección ambiental, Ministerio de ambiente y espacio público, Argentina. 45p.
- VILLA Anna, PEREZ Gabriel, SOLÉ Cristian, FERNANDEZ A, CABEZA Luisa F. Use of rubbercrumbs as drainagelayer in experimental greenroofs. Building and Environment. 48 : 101-106, feb. 2012.
- ZIELINSKI Seweryn, GARCIA Mario, VEGA Juan Carlos. Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?. Revista gestión y ambiente 15(1): 91-104, 2012.

Manual práctico de compostaje,

<http://www.abarrataldea.org/manual.htm>

<http://www.bioagricoladellano.com.co/index.php?sec=57>

**AnexoA**

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS**

|   |                                    |               |
|---|------------------------------------|---------------|
|  | <b>LABORATORIO DE CONCRETOS</b>    | CON-ING-04-04 |
|   |                                    | VERSIÓN 0     |
|   | <b>MASA UNITARIA AGREGADO FINO</b> | 01/03/2013    |

**PROYECTO:** INVESTIGACIÓN CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS **FECHA RECEPCIÓN:** 02. ene 14  
**SOLICITANTE:** CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA **FECHA ENSAYO:** 02. ene 14  
**DESCRIPCIÓN:** SUELO DE COLOR CAFÉ ,ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD

**PESO UNITARIO SUELTO**

| MUESTRA                       | 1             | 2             | 3              | PROMEDIO       |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| W.s + W.r (g)                 | 4425.0        | 4448.0        | 4423.00        | <b>4432.00</b> |
| W.s (g)                       | <b>1406.0</b> | <b>1429.0</b> | <b>1404.00</b> | <b>1413.00</b> |
| W.r (g)                       | 3019.0        | 3019.0        | 3019.00        | <b>3019.00</b> |
| V.r (cm <sup>3</sup> )        | 1007.0        | 1007.0        | 1007.00        | <b>1007.00</b> |
| M.U.S (kg/cm <sup>3</sup> )   | <b>1396.2</b> | <b>1419.1</b> | <b>1394.2</b>  | <b>1403.18</b> |
| Gs. Aparente (S)              |               |               |                |                |
| V = 100((S*W)-M.U.S.)/(S*W) % |               |               |                |                |

**PESO UNITARIO COMPACTO**

| MUESTRA                       | 1              | 2              | 3               | PROMEDIO        |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| W.s + W.r (g)                 | 21150.0        | 21020.0        | 21102.00        | <b>21090.67</b> |
| W.s (g)                       | <b>15304.0</b> | <b>15174.0</b> | <b>15256.00</b> | <b>15244.67</b> |
| W.r (g)                       | 5846.0         | 5846.0         | 5846.00         | <b>5846.00</b>  |
| V.r (cm <sup>3</sup> )        | 9897.0         | 9897.0         | 9897.00         | <b>9897.00</b>  |
| M.U.C (kg/cm <sup>3</sup> )   | <b>1546.3</b>  | <b>1533.2</b>  | <b>1541.5</b>   | <b>1540.33</b>  |
| Gs. Aparente (S)              |                |                |                 |                 |
| V = 100((S*W)-M.U.C.)/(S*W) % |                |                |                 |                 |

**DONDE:**

W.s + W.r = Masa de la muestra mas el recipiente  
W.r = Peso del recipiente  
W.s = Peso de la muestra  
V.r = Volumen del recipiente  
M.U.S = Masa unitaria suelta  
M.U.C = Masa unitaria compacta  
Gs. Gravedad específica aparente (S) (base seca), determinada con las normas NTC 176 Y 237  
W = Densidad del agua (998 kg/m<sup>3</sup>)  
V = % de vacíos

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (mm) | CAPACIDAD DEL MOLDE (l) |
|---|-------------------------|
| 12,5                                    | 2,8                     |
| 25,0                                    | 9,3                     |
| 37,5                                    | 14,0                    |

OBSERVACIONES: MUESTRA SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

---

LAB. OMAR GUTIERREZ VALDION ING. LAURA V. PARRADO LÓPEZ  
EJECUTÓ: REVISÓ:

Carrera 25 No. 12-41,43 B. Dorado Alto Cel. 310 559 78 63 Tel. 657 41 49 Acacias – Meta  
E-mail: [ingelab2010@hotmail.com](mailto:ingelab2010@hotmail.com); Web: [www.ingelabsp.com](http://www.ingelabsp.com)

|   |  |               |
|---|--|---------------|
|  | <b>LABORATORIO DE SUELOS<br/>CONTROL DE MATERIALES<br/>GRANULOMETRIA Y LIMITES DE CONSISTENCIA</b> | SUE-ING-04-03 |
|   |  | VERSIÓN 0     |
|   |  | 01/03/2013    |

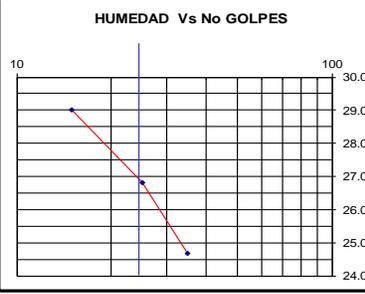
  

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>PROYECTO:</b> INVESTIGACIÓN CUBIERTAS VERDES<br><b>LOCALIZACIÓN:</b> _____<br><b>SOLICITANTE:</b> CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA | <b>SONDEO:</b> -<br><b>MUESTRA:</b> UNO<br><b>PROFUNDIDAD (m):</b> - |  |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b> SUELO DE COLOR CAFÉ, ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD.<br><b>NORMA:</b> N.A.                       | <b>FECHA RECEPCIÓN:</b> 02-ene-14<br><b>FECHA ENSAYO:</b> 02-ene-14  |  |

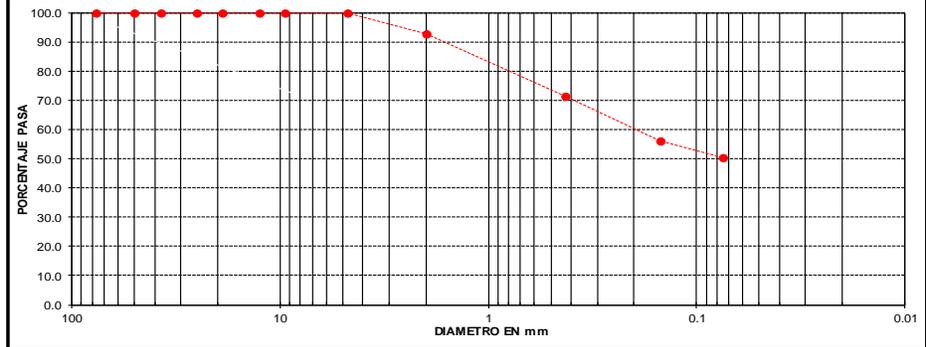
  

|   |        |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
|---|--------|-------|-------|----|----------|---|---|---|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------------|------|------|------|---|----------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|------|-------------|------|------|---|----------|----|----------|----|----------|---|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <caption>LIMITE LIQUIDO</caption> <tr><td>GOLPES</td><td>35</td><td>25</td><td>15</td></tr> <tr><td>VASO No.</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>P1 (g)</td><td>47.56</td><td>51.78</td><td>48.93</td></tr> <tr><td>P2 (g)</td><td>40.42</td><td>44.55</td><td>40.56</td></tr> <tr><td>P3 (g)</td><td>11.50</td><td>17.59</td><td>11.71</td></tr> <tr><td>HUMEDAD (%)</td><td>24.7</td><td>26.8</td><td>29.0</td></tr> </table> | GOLPES | 35    | 25    | 15 | VASO No. | 1 | 2 | 3 | P1 (g) | 47.56 | 51.78 | 48.93 | P2 (g) | 40.42 | 44.55 | 40.56 | P3 (g) | 11.50 | 17.59 | 11.71 | HUMEDAD (%) | 24.7 | 26.8 | 29.0 | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <caption>LIMITE PLASTICO</caption> <tr><td>VASO No.</td><td>1399</td><td>1,400</td></tr> <tr><td>P1 (g)</td><td>27.13</td><td>26.35</td></tr> <tr><td>P2 (g)</td><td>26.06</td><td>23.73</td></tr> <tr><td>P3 (g)</td><td>19.98</td><td>8.56</td></tr> <tr><td>HUMEDAD (%)</td><td>17.6</td><td>17.3</td></tr> </table> | VASO No. | 1399 | 1,400 | P1 (g) | 27.13 | 26.35 | P2 (g) | 26.06 | 23.73 | P3 (g) | 19.98 | 8.56 | HUMEDAD (%) | 17.6 | 17.3 | <table style="width:100%;"> <caption>VALORES</caption> <tr><td>L.L. (%)</td><td>27</td></tr> <tr><td>L.P. (%)</td><td>17</td></tr> <tr><td>I.P. (%)</td><td>9</td></tr> <tr><td>GRAVAS (%)</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>ARENAS (%)</td><td>49.62</td></tr> <tr><td>FINOS (%)</td><td>50.30</td></tr> </table> | L.L. (%) | 27 | L.P. (%) | 17 | I.P. (%) | 9 | GRAVAS (%) | 0.08 | ARENAS (%) | 49.62 | FINOS (%) | 50.30 |
| GOLPES  | 35     | 25    | 15    |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| VASO No.  | 1      | 2     | 3     |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P1 (g)  | 47.56  | 51.78 | 48.93 |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P2 (g)  | 40.42  | 44.55 | 40.56 |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P3 (g)  | 11.50  | 17.59 | 11.71 |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| HUMEDAD (%)   | 24.7   | 26.8  | 29.0  |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| VASO No.  | 1399   | 1,400 |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P1 (g)  | 27.13  | 26.35 |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P2 (g)  | 26.06  | 23.73 |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P3 (g)  | 19.98  | 8.56  |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| HUMEDAD (%)   | 17.6   | 17.3  |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| L.L. (%)  | 27     |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| L.P. (%)  | 17     |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| I.P. (%)  | 9      |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| GRAVAS (%)  | 0.08   |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| ARENAS (%)  | 49.62  |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |
| FINOS (%)   | 50.30  |       |       |    |          |   |   |   |        |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |       |             |      |      |      |   |          |      |       |        |       |       |        |       |       |        |       |      |             |      |      |   |          |    |          |    |          |   |            |      |            |       |           |       |



| P1 (g): | 443.2         | P2 (g):    | 220.3  | HUMEDAD NATURAL   |       |
|---------|---------------|------------|--------|-------------------|-------|
| Tamiz   | Peso retenido | % Retenido | % Pasa | VASO No.          |       |
| 2 1/2"  | 0.0           | 0.0        | 100.0  | P1 (g)            | 700.0 |
| 2"      | 0.0           | 0.0        | 100.0  | P2 (g)            | 588.1 |
| 1 1/2"  | 0.0           | 0.0        | 100.0  | P3 (g)            | 144.9 |
| 1"      | 0.0           | 0.0        | 100.0  | HUMEDAD (%)       | 25.2  |
| 3/4"    | 0.0           | 0.0        | 100.0  | D <sub>10</sub> = | -     |
| 1/2"    | 0.0           | 0.0        | 100.0  | D <sub>30</sub> = | -     |
| 3/8"    | 0.0           | 0.0        | 100.0  | D <sub>60</sub> = | -     |
| # 4     | 0.4           | 0.1        | 99.9   | Cu=               | -     |
| 10      | 32.1          | 7.2        | 92.7   | Cc=               | -     |
| 40      | 93.9          | 21.2       | 71.5   |                   |       |
| 100     | 68.1          | 15.4       | 56.1   |                   |       |
| 200     | 25.8          | 5.8        | 50.3   |                   |       |
| P/200   | 222.9         | 50.3       | 0.0    |                   |       |

**CLASIFICACIÓN** USC: CL AASHTO: -

**OBSERVACIONES :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| LAB. OMAR GUTIERREZ VALDION<br>EJECUTÓ | ING. LAURA V. PARRADO LÓPEZ<br>REVISÓ |
|--|---------------------------------------|

|             |
|-------------|
| Hoja 1 de 1 |
|-------------|

Carrera 25 No. 12-41-43 B. Dorado Alto Cel. 310 559 78 63 Tel. 657 41 49 Acacias - Meta  
 E-mail: [ingelab2010@hotmail.com](mailto:ingelab2010@hotmail.com) Web: [www.ingelabsp.com](http://www.ingelabsp.com)

|   |                                    |               |
|---|------------------------------------|---------------|
|  | <b>LABORATORIO DE CONCRETOS</b>    | CON-ING-04-04 |
|   | <b>MASA UNITARIA AGREGADO FINO</b> | VERSIÓN 0     |
|   |                                    | 01/03/2013    |

**PROYECTO:** INVESTIGACIÓN CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS **FECHA RECEPCIÓN:** 09. ene 14

**SOLICITANTE:** CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA **FECHA ENSAYO:** 10. ene 14

**DESCRIPCIÓN:** ARENA LIMOSA DE COLOR NEGRO

**PESO UNITARIO SUELTO**

| MUESTRA                       | 1             | 2             | 3              | PROMEDIO       |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| W.s + W.r (g)                 | 4471.0        | 4469.0        | 4478.00        | <b>4472.67</b> |
| W.s (g)                       | <b>1452.0</b> | <b>1450.0</b> | <b>1459.00</b> | <b>1453.67</b> |
| W.r (g)                       | 3019.0        | 3019.0        | 3019.00        | <b>3019.00</b> |
| V.r (cm3)                     | 1007.0        | 1007.0        | 1007.00        | <b>1007.00</b> |
| M.U.S (kg/cm <sup>3</sup> )   | <b>1441.9</b> | <b>1439.9</b> | <b>1448.9</b>  | <b>1443.56</b> |
| Gs. Aparente (S)              |               |               |                |                |
| V = 100((S*W)-M.U.S.)/(S*W) % |               |               |                |                |

**PESO UNITARIO COMPACTO**

| MUESTRA                       | 1              | 2              | 3               | PROMEDIO        |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| W.s + W.r (g)                 | 22656.0        | 22701.0        | 22685.00        | <b>22680.67</b> |
| W.s (g)                       | <b>16810.0</b> | <b>16855.0</b> | <b>16839.00</b> | <b>16834.67</b> |
| W.r (g)                       | 5846.0         | 5846.0         | 5846.00         | <b>5846.00</b>  |
| V.r (cm3)                     | 9897.0         | 9897.0         | 9897.00         | <b>9897.00</b>  |
| M.U.C (kg/cm <sup>3</sup> )   | <b>1698.5</b>  | <b>1703.0</b>  | <b>1701.4</b>   | <b>1700.99</b>  |
| Gs. Aparente (S)              |                |                |                 |                 |
| V = 100((S*W)-M.U.C.)/(S*W) % |                |                |                 |                 |

**DONDE:**

W.s + W.r = Masa de la muestra mas el recipiente  
 W.r = Peso del recipiente  
 W.s = Peso de la muestra  
 V.r = Volumen del recipiente  
 M.U.S = Masa unitaria suelta  
 M.U.C = Masa unitaria compacta  
 Gs. Gravedad específica aparente (S) (base seca), determinada con las normas NTC 176 Y 237  
 W = Densidad del agua (998 kg/m3)  
 V = % de vacíos

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (mm) | CAPACIDAD DEL MOLDE (l) |
|---|-------------------------|
| 12,5                                    | 2,8                     |
| 25,0                                    | 9,3                     |
| 37,5                                    | 14,0                    |

OBSERVACIONES: MUESTRA SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

---

LAB. OMAR GUTIERREZ VALDION ING. LAURA V. PARRADO LÓPEZ  
 EJECUTÓ: REVISÓ:

---

Carrera 25 No. 12-41,41 B. Dorado Alto Cel. 330 559 78 61 Tel. 657 43 49 Acacias – Meta  
 E-mail: [ingelab2010@hotmail.com](mailto:ingelab2010@hotmail.com); Web: [www.ingelabsp.com](http://www.ingelabsp.com)

|  |  |   |                             |  |  |
|--|--|---|-----------------------------|--|--|
|   | <b>LABORATORIO DE CONCRETOS Y MORTEROS</b><br><b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION</b> | CON-ING-04-06                             |                             |  |  |
|  |  | VERSIÓN 0                                 |                             |  |  |
|  |  | 01/03/2013                                |                             |  |  |
| <b>PROYECTO:</b> <u>INVESTIGACIÓN CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS</u>  |  |   |                             |  |  |
| <b>SOLICITANTE:</b> <u>CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA</u>   |  | <b>FECHA RECEPCIÓN:</b> <u>02/01/2014</u> |                             |  |  |
| <b>PROCEDECENCIA:</b> <u>QUEBRADA LA ARGENTINA</u>   |  | <b>FECHA ENSAYO:</b> <u>02/01/2014</u>    |                             |  |  |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b> <u>ARENA LIMOSA DE COLOR NEGRO</u>   |  |   |                             |  |  |
| <b>NORMA:</b> <u>N.A</u>   |  |   |                             |  |  |
| <b>DATOS DEL LABORATORIO</b>   |  |   |                             |  |  |
| MUESTRA  |  | 1   |                             |  |  |
| W.s (A)  | (g)  | 482.00                                    |                             |  |  |
| W.s.s.s (B)  | (g)  | 500.00                                    |                             |  |  |
| W.w (C)  | (g)  | 304.48                                    |                             |  |  |
| Gs. Bulk = A / (A - C)   | (g/cm3)  | <u>2.72</u>                               |                             |  |  |
| Gs. Bulk S.S.S = B / (B - C)   | (g/cm3)  | <u>2.56</u>                               |                             |  |  |
| Gs. Aparente = A / (B - C)   | (g/cm3)  | <u>2.47</u>                               |                             |  |  |
| % Abs = ((B - A) / A) * 100  | %  | <u>3.7</u>                                |                             |  |  |
| <b>DONDE:</b><br>W.s = Peso en el aire de la muestra seca ( A )<br>W.s.s.s = Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca ( B )<br>W.w = Peso de la muestra sumergida en agua (C)<br>Gs. Bulk = Peso específico nominal<br>Gs. Bulk S.S.S = Peso específico saturado y superficialmente seco<br>Gs. Aparente<br>%. Absorción |  |   |                             |  |  |
| <b>NOTA:</b> LOS VALORES QUE SE DAN COMO TÍPICOS SON:<br>PESO ESPECÍFICO ENTRE 2,30 Y 2,75 g/cm3<br>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN ENTRE 0,2 Y 4,0 %  |  |   |                             |  |  |
| <b>Observaciones:</b> <u>MUESTRA SUMINISTRADA POR EL CLIENTE</u><br>_____<br>_____<br>_____  |  |   |                             |  |  |
| <b>EJECUTÓ:</b> _____  |  |   | <b>REVISÓ:</b> _____        |  |  |
| LAB. OMAR GUTIERREZ VALDIÓN  |  |   | ING. LAURA V. PARRADO LÓPEZ |  |  |
| Carrera 25 No. 12-41,43 B. Dorado Alto Cel. 310 559 78 63 Tel. 657 41 49 Acacias – Meta<br>E-mail: <a href="mailto:ingelab2010@hotmail.com">ingelab2010@hotmail.com</a> ; Web: <a href="http://www.ingelabsp.com">www.ingelabsp.com</a>  |  |   |                             |  |  |

|   |  |               |
|---|--|---------------|
|  | <b>LABORATORIO DE SUELOS<br/>CONTROL DE MATERIALES<br/>GRANULOMETRIA Y LIMITES DE CONSISTENCIA</b> | SUE-ING-04-03 |
|   |  | VERSIÓN 0     |
|   |  | 01/03/2013    |

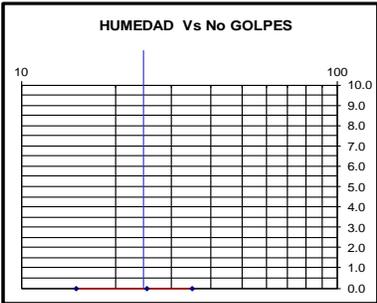
  

|   |   |
|---|---|
| <b>PROYECTO:</b> INVESTIGACIÓN CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS<br><b>LOCALIZACION:</b> QUEBRADA LA ARGENTINA<br><b>SOLICITANTE:</b> CLAUDIA MARCELA PACHECO PINILLA<br><b>DESCRIPCION:</b> SUELO DE COLOR NEGRO, ARENA LIMOSA<br><b>NORMA:</b> N.A. | <b>SONDEO:</b> -<br><b>MUESTRA:</b> UNO<br><b>PROFUNDIDAD (m):</b> -<br><b>FECHA RECEPCIÓN:</b> 02-ene-14<br><b>FECHA ENSAYO:</b> 02-ene-04 |
|---|---|

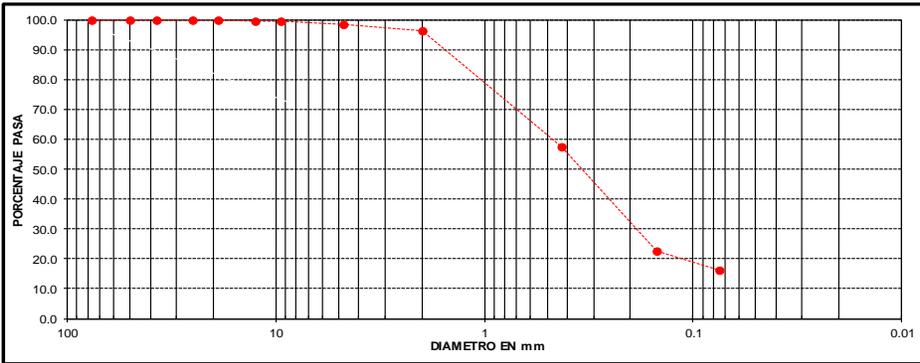
  

|  |        |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
|--|--------|------|------|----|----------|---|---|---|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|-------------|-----|-----|-----|--|----------|---|---|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|-------------|-----|-----|--|----------|---|----------|---|----------|---|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| <b>LIMITE LIQUIDO</b><br><table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>GOLPES</td> <td style="text-align: center;">35</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td>VASO No.</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>P1 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>P2 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>P3 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD (%)</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> </tr> </table> | GOLPES | 35   | 25   | 15 | VASO No. | - | - | - | P1 (g) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | P2 (g) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | P3 (g) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | HUMEDAD (%) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | <b>LIMITE PLASTICO</b><br><table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>VASO No.</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>P1 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>P2 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>P3 (g)</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD (%)</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> </tr> </table> | VASO No. | - | - | P1 (g) | 0.00 | 0.00 | P2 (g) | 0.00 | 0.00 | P3 (g) | 0.00 | 0.00 | HUMEDAD (%) | 0.0 | 0.0 | <b>VALORES</b><br><table style="width:100%;"> <tr> <td>L.L. (%)</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>L.P. (%)</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>I.P. (%)</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>GRAVAS (%)</td> <td style="text-align: right;">1.45</td> </tr> <tr> <td>ARENAS (%)</td> <td style="text-align: right;">82.26</td> </tr> <tr> <td>FINOS (%)</td> <td style="text-align: right;">16.28</td> </tr> </table> | L.L. (%) | 0 | L.P. (%) | 0 | I.P. (%) | 0 | GRAVAS (%) | 1.45 | ARENAS (%) | 82.26 | FINOS (%) | 16.28 |
| GOLPES   | 35     | 25   | 15   |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| VASO No.   | -      | -    | -    |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P1 (g)   | 0.00   | 0.00 | 0.00 |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P2 (g)   | 0.00   | 0.00 | 0.00 |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P3 (g)   | 0.00   | 0.00 | 0.00 |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| HUMEDAD (%)  | 0.0    | 0.0  | 0.0  |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| VASO No.   | -      | -    |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P1 (g)   | 0.00   | 0.00 |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P2 (g)   | 0.00   | 0.00 |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| P3 (g)   | 0.00   | 0.00 |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| HUMEDAD (%)  | 0.0    | 0.0  |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| L.L. (%)   | 0      |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| L.P. (%)   | 0      |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| I.P. (%)   | 0      |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| GRAVAS (%)   | 1.45   |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| ARENAS (%)   | 82.26  |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |
| FINOS (%)  | 16.28  |      |      |    |          |   |   |   |        |      |      |      |        |      |      |      |        |      |      |      |             |     |     |     |  |          |   |   |        |      |      |        |      |      |        |      |      |             |     |     |  |          |   |          |   |          |   |            |      |            |       |           |       |



| GRADACION - MUESTRA |               |                     |        | HUMEDAD NATURAL   |       |
|---------------------|---------------|---------------------|--------|-------------------|-------|
| P <sub>1</sub> (g): | 509.1         | P <sub>2</sub> (g): | 426.2  | VASO No.          | 1     |
| Tamiz               | Peso retenido | % Retenido          | % Pasa | P1 (g)            | 700.2 |
| 2 1/2"              | 0.0           | 0.0                 | 100.0  | P2 (g)            | 659.5 |
| 2"                  | 0.0           | 0.0                 | 100.0  | P3 (g)            | 150.4 |
| 1 1/2"              | 0.0           | 0.0                 | 100.0  | HUMEDAD (%)       | 8.0   |
| 1"                  | 0.0           | 0.0                 | 100.0  | D <sub>10</sub> = | -     |
| 3/4"                | 0.0           | 0.0                 | 100.0  | D <sub>30</sub> = | -     |
| 1/2"                | 2.5           | 0.5                 | 99.5   | D <sub>60</sub> = | -     |
| 3/8"                | 0.0           | 0.0                 | 99.5   | C <sub>u</sub> =  | -     |
| # 4                 | 4.9           | 1.0                 | 98.5   | C <sub>c</sub> =  | -     |
| 10                  | 10.9          | 2.1                 | 96.4   |                   |       |
| 40                  | 197.7         | 38.8                | 57.6   |                   |       |
| 100                 | 178.6         | 35.1                | 22.5   |                   |       |
| 200                 | 31.6          | 6.2                 | 16.3   |                   |       |
| P/200               | 82.9          | 16.3                | 0.0    |                   |       |

**CLASIFICACIÓN** USC: SM AASHTO: -

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

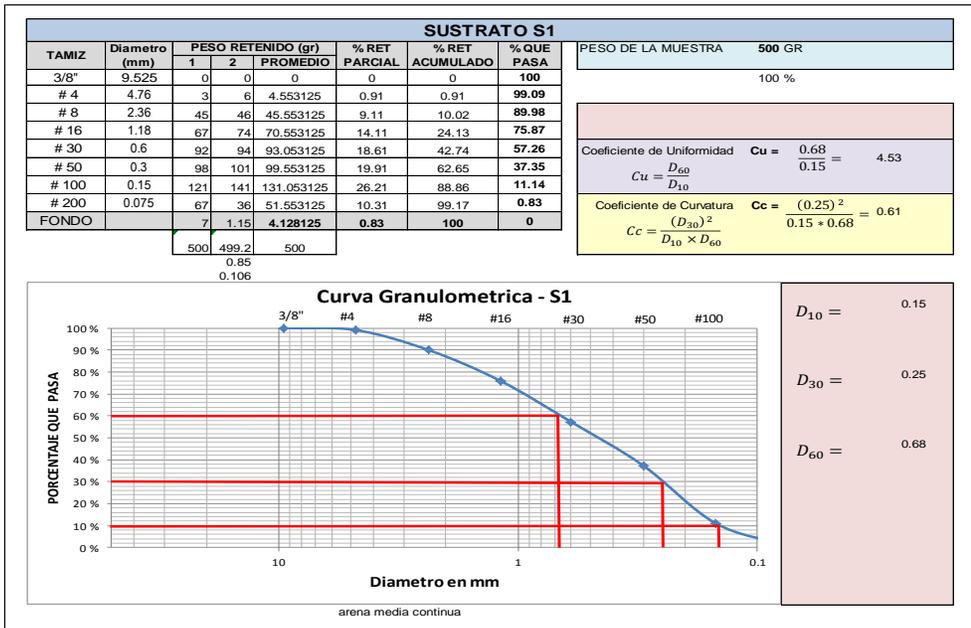
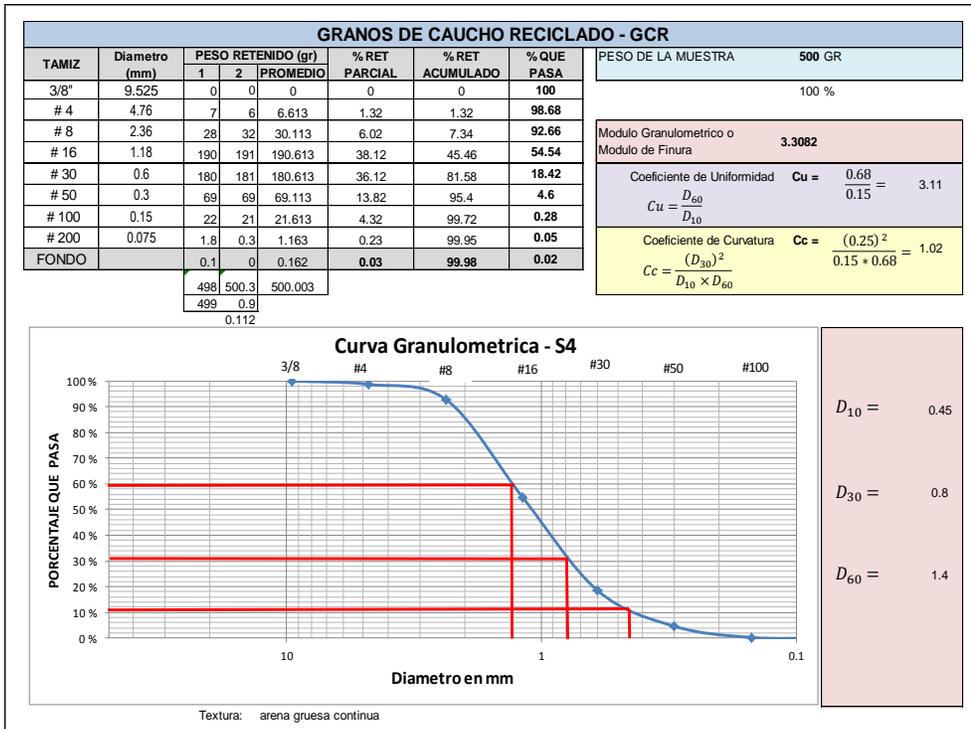
  

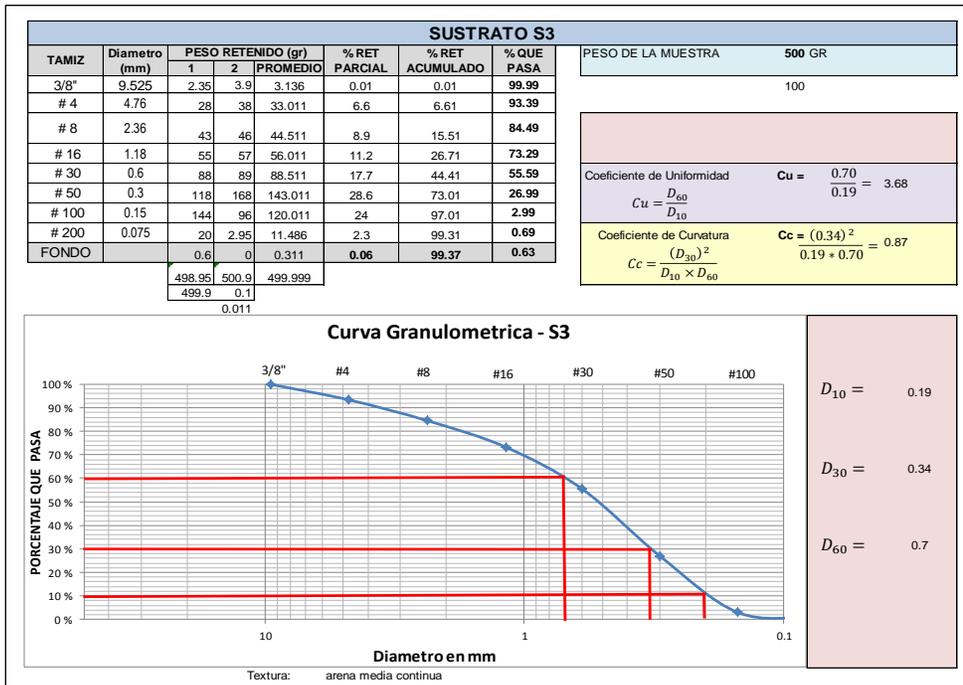
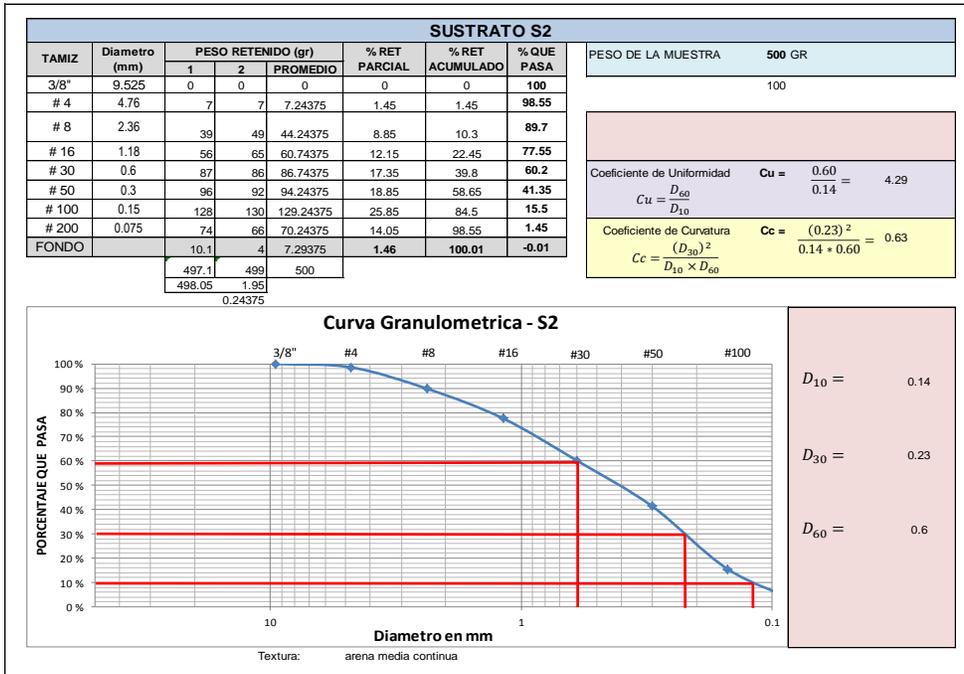
LAB. OMAR GUTIERREZ VALDION  
EJECUTÓ

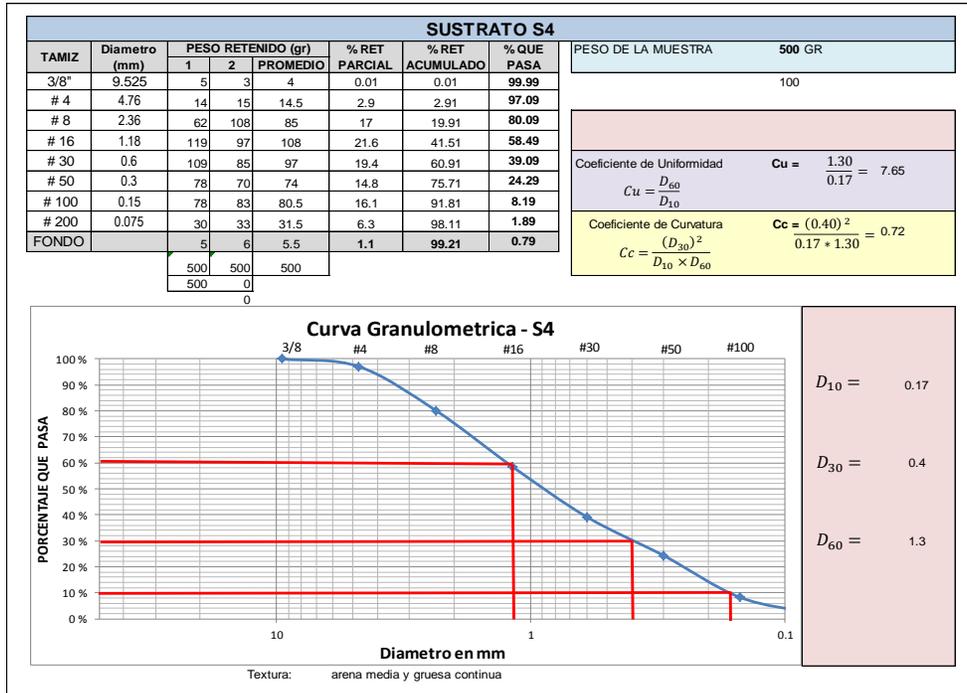
ING. LAURA V. PARRADO LÓPEZ  
REVISÓ

Hoja 1 de 1

Carrera 25 No. 12-41,43 B. Dorado Alto Cel. 310 559 78 63 Tel. 657 41 49 Acacias - Meta  
E-mail: ingelab2010@hotmail.com; Web: www.ingelabsp.com







Anexo A

|  |   |                   |   |
|--|---|-------------------|---|
|                     | <b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS FINOS</b>  | Codigo: PML-F28   |   |
|  |   | Fecha: 30.03.2012 |   |
|  |   | Version 1         |   |
| <b>OBJETO:</b>   | Investigación Cubiertas Vegetales   |                   |   |
| <b>INTERESADO:</b>   | Claudia Marcela Pacheco   |                   |   |
| <b>LUGAR:</b>  | Municipio de Villavicencio - Meta   |                   |   |
| <b>DESCRIPCION:</b>  | GCR - Granulos de caucho reciclado  |                   |   |
| <b>FECHA ENSAYO:</b>   | 8 de julio de 2014  |                   |   |
| <b>NORMA TECNICA:</b>  | INV-E-128   |                   |   |
| $GS_{20^{\circ}C} = \frac{W_s \times K}{W_s + W_b - W_a}$  |   |                   |   |
| Ensayos  | 1   | 2                 | 3 |
| Vol. del picnometro a 20,5°C   | 545.4 ml  |                   |   |
| Wb= masa del picno + agua + suelo gm   | 721.6   |                   |   |
| Wa= masa del picn + agua a la temperat   | 715.7   |                   |   |
| Ws= peso suelo seco  | 48.5  |                   |   |
| K=factor de correccion en la densidad del agua a 25°C  | 0.99705   |                   |   |
| Ww= Ws-Wa-Wb   | 42.60   |                   |   |
| <b>Gravedad especifica</b>   | <b>1.135</b>  |                   |   |
| Observaciones:   | <hr/> <hr/> <hr/>   |                   |   |
| <br>Laboratorista | <br>Director Técnico |                   |   |

Anexo A

|  |   |   |                   |
|--|---|---|-------------------|
|                     | <b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS FINOS</b>  |   | Codigo: PML-F28   |
|  |   |   | Fecha: 30.03.2012 |
|  |   |   | Version 1         |
| OBJETO:  | Investigación Cubiertas Vegetales   |   |                   |
| INTERESADO:  | Claudia Marcela Pacheco   |   |                   |
| LUGAR:   | Municipio de Villavicencio - Meta   |   |                   |
| DESCRIPCION:   | S1 - Suelo, Arena, Cascavilla de arroz y compost  |   |                   |
| FECHA ENSAYO:  | 8 de julio de 2014  |   |                   |
| NORMA TECNICA:   | INV-E-128   |   |                   |
| $GS_{20°C} = \frac{Ws \times K}{Ws + Wb - Wa}$   |   |   |                   |
| Ensayos  | 1   | 2 | 3                 |
| Vol. del picnometro a 20,5°C   | 535.4 ml  |   |                   |
| Wb= masa del picno + agua + suelo gm   | 768.4   |   |                   |
| Wa= masa del picno + agua a la temperat  | 708.4   |   |                   |
| Ws= peso suelo seco  | 97.2  |   |                   |
| K=factor de correccion en la densidad del agua a 25°C  | 0.99705   |   |                   |
| Ww= Ws+Wa-Wb   | 37.20   |   |                   |
| Gravedad especifica  | 2.605   |   |                   |
| Observaciones:   | _____<br>_____<br>_____   |   |                   |
| <br>Laboratorista | <br>Director Técnico |   |                   |

Anexo A

|  |   |   |                   |
|--|---|---|-------------------|
|                     | <b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS FINOS</b>  |   | Código: PML-P28   |
|  |   |   | Fecha: 30.03.2012 |
|  |   |   | Version 1         |
| OBJETO:  | Investigación Cubiertas Vegetales   |   |                   |
| INTERESADO:  | Claudia Marcela Pacheco   |   |                   |
| LUGAR:   | Municipio de Villavicencio - Meta   |   |                   |
| DESCRIPCION:   | S2 - Suelo, Arena, Cascanilla de amoz tostado y compos  |   |                   |
| FECHA ENSAYO:  | 8 de julio de 2014  |   |                   |
| NORMA TECNICA:   | INV-E-128   |   |                   |
| $GS_{20C} = \frac{Ws \times K}{Ws + Wb - Wa}$  |   |   |                   |
| Ensayos  | 1   | 2 | 3                 |
| Vol. del picnometro a 20,5°C   | 545.9 ml  |   |                   |
| Wb= masa del picno + agua + suelo gm   | 772.4   |   |                   |
| Wa= masa del picn + agua a la temperat   | 715.7   |   |                   |
| Ws= peso suelo seco  | 93  |   |                   |
| K=factor de correccion en la densidad del agua a 25°C  | 0.99705   |   |                   |
| Ww= Ws-Wa-Wb   | 36.30   |   |                   |
| Gravedad especifica  | 2.554   |   |                   |
| Observaciones:   | <hr/> <hr/> <hr/>   |   |                   |
| <br>Laboratorista | <br>Director Técnico |   |                   |

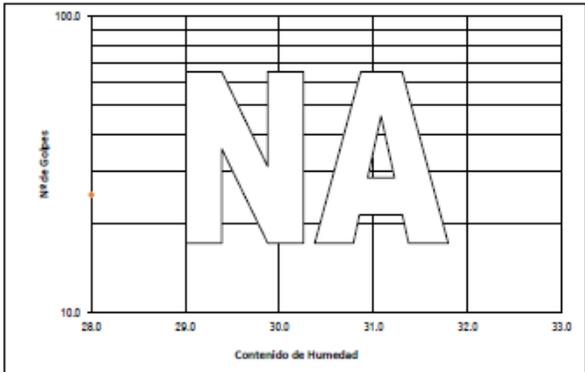
Anexo A

|  |   |                   |   |
|--|---|-------------------|---|
|                     | <b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS FINOS</b>  | Código: PML-F28   |   |
|  |   | Fecha: 30.03.2012 |   |
|  |   | Version 1         |   |
| OBJETO:  | Investigación Cubiertas Vegetales   |                   |   |
| INTERESADO:  | Claudia Marcela Pacheco   |                   |   |
| LUGAR:   | Municipio de Villavicencio - Meta   |                   |   |
| DESCRIPCION:   | S3 - Suelo, Arena, Cuesco de palma africana y compost   |                   |   |
| FECHA ENSAYO:  | 8 de julio de 2014  |                   |   |
| NORMA TECNICA:   | INV-E-128   |                   |   |
| $GS_{20C} = \frac{Ws \times K}{Ws + Wb - Wa}$  |   |                   |   |
| Ensayos  | 1   | 2                 | 3 |
| Vol. del picnometro a 20,5°C   | 547.5 ml  |                   |   |
| Wb= masa del picn + agua + suelo gm  | 773.4   |                   |   |
| Wa= masa del picn + agua a la temperat   | 714.2   |                   |   |
| Ws= peso suelo seco  | 95.7  |                   |   |
| K=factor de correccion en la densidad del agua a 25°C  | 0.99705   |                   |   |
| Ww= Ws+Wa-Wb   | 36.50   |                   |   |
| Gravedad especifica  | 2.614   |                   |   |
| Observaciones:   | _____<br>_____<br>_____   |                   |   |
| <br>Laboratorista | <br>Director Técnico |                   |   |

Anexo A

|  |   |   |                  |
|--|---|---|------------------|
|                     | <b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS FINOS</b>  |   | Codigo:PML-F28   |
|  |   |   | Fecha:30.03.2012 |
|  |   |   | Version 1        |
| <b>OBJETO:</b>   | Investigación Cubiertas Vegetales   |   |                  |
| <b>INTERESADO:</b>   | Claudia Marcela Pacheco   |   |                  |
| <b>LUGAR:</b>  | Municipio de Villavicencio - Meta   |   |                  |
| <b>DESCRIPCION:</b>  | S4 - Suelo, Arena, Cuesco de palma africana y compost   |   |                  |
| <b>FECHA ENSAYO:</b>   | 8 de julio de 2014  |   |                  |
| <b>NORMA TECNICA:</b>  | INV-E-128   |   |                  |
| $GS_{20C} = \frac{Ws \times K}{Ws + Wb - Wa}$  |   |   |                  |
| Ensayos  | 1   | 2 | 3                |
| Vol. del picnometro a 20,5°C   | 535.4 ml  |   |                  |
| Wb= masa del picno + agua + suelo gm   | 730.2   |   |                  |
| Wa= masa del picn + agua a la temperat   | 708.7   |   |                  |
| Ws= peso suelo seco  | 46.4  |   |                  |
| K=factor de correccion en la densidad del agua a 25°C  | 0.99705   |   |                  |
| Ww= Ws-Wa-Wb   | 24.90   |   |                  |
| <b>Gravedad especifica</b>   | <b>1.858</b>  |   |                  |
| Observaciones:   |   |   |                  |
| <br>Laboratorista | <br>Director Técnico |   |                  |

Anexo A

|   |   |   |    |  |
|---|---|---|----|--|
|    |   | <b>ENSAYO INDICE DE PLASTICIDAD</b>   |    | Código: PML-F13<br>Fecha: 30.03.2012<br>Versión: 1 |
| OBJETO:   | Investigación Cubiertas Vegetales           |   |    |  |
| INTERESADO:   | Claudia Marcela Pacheco                     |   |    |  |
| LUGAR:  | Municipio de Villavieja - Meta              |   |    |  |
| DESCRIPCION:  | S1 - Suelo, Arena, Cascaña de amaz y campos |   |    |  |
| FECHA ENSAYO:   | 08-jul-14                                   |   |    |  |
| NORMA TECNICA:  | INV-E-122 - 125 - 126                       |   |    |  |
|   |   | Limite liquido<br>Limite Plastico<br>From   |    |  |
| Nº de golpes  | NIL   |   | NP |  |
| Peso muestra húmeda + recipiente  |   |   |    |  |
| Peso muestra seca + recipiente  |   |   |    |  |
| Peso recipiente   |   |   |    |  |
| Porcentaje de humedad   |   |   |    |  |
| Limite Liquido  |   | Clasificación   |    |  |
| Limite Plastico   |   |   |    |  |
| Indice de Plasticidad   |   |   |    |  |
|   |   |   |    |  |
|  |   |  |    |  |

Anexo A

|   |  |                                     |  |   |
|---|--|-------------------------------------|--|---|
|  |  | <b>ENSAYO INDICE DE PLASTICIDAD</b> |  | Código PML-F13<br>Fecha: 30.03.2012<br>Versión: 1 |
| OBJETO:   | Investigación Cubiertas Vegetales                      |                                     |  |   |
| INTERESADO:   | Claudia Marcela Pacheco                                |                                     |  |   |
| LUGAR:  | Municipio de Villavicencio - Meta                      |                                     |  |   |
| DESCRIPCION:  | S2 - Suelo, Arena, Cascorilla de amaz listado y campos |                                     |  |   |
| FECHA ENSAYO:   | 08-jul-14  |                                     |  |   |
| NORMA TECNICA:  | INV-E-122 - 125 - 126                                  |                                     |  |   |

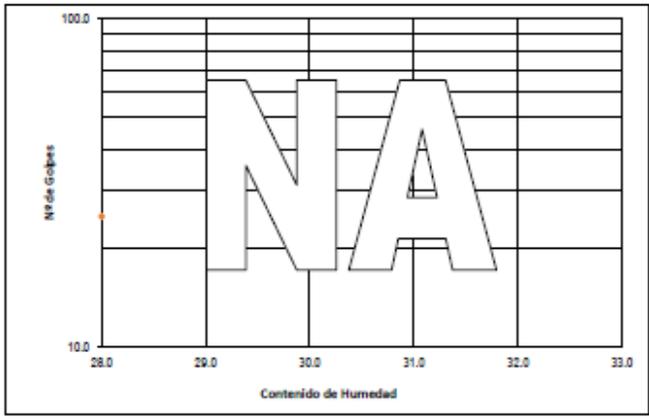
  

|                                  |                |                 |  |
|----------------------------------|----------------|-----------------|--|
|                                  | Limite liquido | Limite Plastico |  |
| N° de golpes                     | NL             | NP              |  |
| Peso muestra húmeda + recipiente |                |                 |  |
| Peso muestra seca + recipiente   |                |                 |  |
| Peso recipiente                  |                |                 |  |
| Porcentaje de humedad            |                |                 |  |
|                                  |                | Prom            |  |

|                       |  |               |  |
|-----------------------|--|---------------|--|
| Limite Liquido        |  | Clasificación |  |
| Limite Plastico       |  |               |  |
| Indice de Plasticidad |  |               |  |



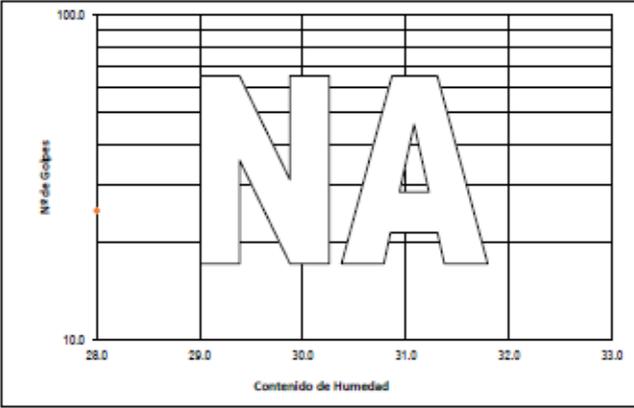


Laboratorista

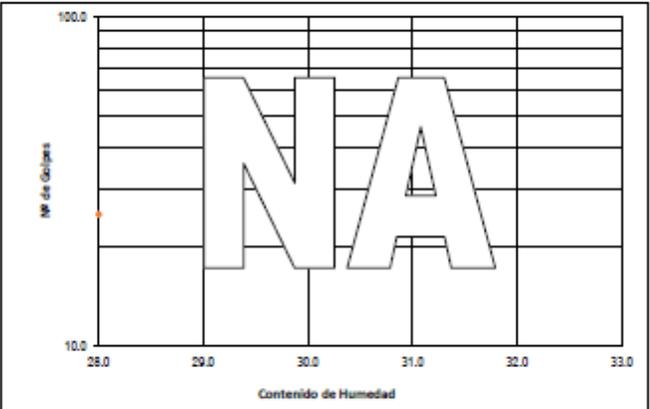


Director Técnico

Anexo A

|   |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|---|--|---|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|--|--|----------------------------------|--|--|--------------------------------|----|-----|-----------------|--|--|-----------------------|--|--|--|--|------|
|    | <b>ENSAYO INDICE DE PLASTICIDAD</b>                  |   | Código: PML-F13   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|   |  |   | Fecha: 30.03.2012 |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|   |  |   | Version: 1        |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| OBJETO:   | Investigación Cubiertas Vegetales                    |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| INTERESADO:   | Claudia Marcela Pecheo                               |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| LUGAR:  | Municipio de Villavicencio - Meta                    |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| DESCRIPCION:  | S3 - Suelo, Arena, Cusco de palma africana y compost |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| FECHA ENSAYO:   | 08-jul-14  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| NORMA TECNICA:  | INV-E-122 - 125 - 126                                |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Limite liquido</td> <td style="text-align: center;">Limite Plastico</td> </tr> <tr> <td>N° de golpes</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso muestra humeda + recipiente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso muestra seca + recipiente</td> <td style="text-align: center;">NL</td> <td style="text-align: center;">NIP</td> </tr> <tr> <td>Peso recipiente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de humedad</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">From</td> </tr> </table> |  |   |                   |                | Limite liquido | Limite Plastico | N° de golpes    |  |  | Peso muestra humeda + recipiente |  |  | Peso muestra seca + recipiente | NL | NIP | Peso recipiente |  |  | Porcentaje de humedad |  |  |  |  | From |
|   | Limite liquido                                       | Limite Plastico   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| N° de golpes  |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Peso muestra humeda + recipiente  |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Peso muestra seca + recipiente  | NL   | NIP   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Peso recipiente   |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Porcentaje de humedad   |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|   |  | From  |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Limite Liquido</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Clasificación</td> </tr> <tr> <td>Limite Plástico</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Indice de Plasticidad</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>  |  |   |                   | Limite Liquido |                | Clasificación   | Limite Plástico |  |  | Indice de Plasticidad            |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Limite Liquido  |  | Clasificación   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Limite Plástico   |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
| Indice de Plasticidad   |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|  <p>The chart plots 'N° de Golpes' (Number of Blows) on the y-axis (10.0 to 100.0) against 'Contenido de Humedad' (Moisture Content) on the x-axis (28.0 to 33.0). A single data point is plotted at approximately 28.5% moisture and 20 blows. A large 'NA' watermark is overlaid on the chart.</p>  |  |   |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |
|  <p>Laborantista</p>   |  |  <p>Director Técnico</p> |                   |                |                |                 |                 |  |  |                                  |  |  |                                |    |     |                 |  |  |                       |  |  |  |  |      |

Anexo A

|   |  |                                     |   |  |  |
|---|--|-------------------------------------|---|--|--|
|    |  | <b>ENSAYO INDICE DE PLASTICIDAD</b> |   | Código PM-413<br>Fecha: 30.03.2012<br>Versión: 1 |  |
| OBJETO:   | Investigación Cubiertas Vegetales                    |                                     |   |  |  |
| INTERESADO:   | Claudia Marcela Pacheco                              |                                     |   |  |  |
| LUGAR:  | Municipio de Villavieco - Mela                       |                                     |   |  |  |
| DESCRIPCION:  | S4 - Suelo, Arena, Cusco de palma africana y compost |                                     |   |  |  |
| FECHA ENSAYO:   | 08-jul-14  |                                     |   |  |  |
| NORMA TECNICA:  | INV-E-122 - 125 - 126                                |                                     |   |  |  |
|   |  | Limite liquido                      | Limite Plastico   |  |  |
| Nº de golpes  |  |                                     |   |  |  |
| Peso muestra húmeda + recipiente  |  |                                     |   |  |  |
| Peso muestra seca + recipiente  |  |                                     |   |  |  |
| Peso recipiente   |  |                                     |   |  |  |
| Porcentaje de humedad   |  |                                     |   |  |  |
|   |  | Prom                                |   |  |  |
| Limite Liquido  |  |                                     |   | Clasificación                                    |  |
| Limite Plastico   |  |                                     |   |  |  |
| Indice de Plasticidad   |  |                                     |   |  |  |
|   |  |                                     |   |  |  |
|  |  |                                     |  |  |  |

Anexo B

RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES QUÍMICAS

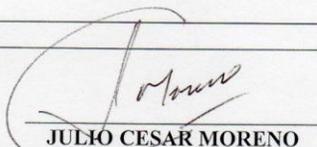
|  <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS</b><br/>Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS<br/>LABORATORIO DE SUELOS</p> |                 | Fecha de recibido<br>Día Mes Año<br>30 03 2014 |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
|---|-----------------|--|--------|--|--------|--------------------------|-------|----------|------|--|------|---|-------|--------|------|-------|------|
|   |                 |  |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| <b>ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS</b>   |                 |  |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| SOLICITANTE: CLAUDIA MARCELA PACHECO – Trabajo de investigación.  |                 |  |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| MUNICIPIO: VILLAVICENCIO  |                 | DEPARTAMENTO: META                             |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| FINCA: VEREDA:  |                 |  |        |  |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| Muestra Lab. No.  | Ident. de campo | Text. Tacto                                    | M.O. % | P. ppm   | pH 1:1 | CATIONES meq/100g suelos |       |          |      |  |      | CIC Meq/100g                                  |       |        |      |       |      |
| 309   | S1              | AF   | 1.9    | 87.6   | 6.0    | Al                       | Ca    | Mg       | K    | Na   | Cu   | Fe  | Mn    | Zn     | B    | S     | 15.0 |
| 310   | S2              | AF   | 2.2    | 117.8  | 6.1    | 0.25                     | 11.25 | 0.01     | 1.63 | 1.20   | 1.40 | 41.25   | 28.13 | 2.35   | 0.40 | 151.6 | 8.0  |
| 311   | S3              | AF   | 2.1    | 117.8  | 6.3    | 0.40                     | 10.35 | 1.15     | 1.68 | 1.33   | 1.50 | 43.13   | 16.88 | 2.65   | 0.51 | 156.3 | 15.0 |
| 312   | S4              | Material Orgánico                              | 16.4   | 243.0  | 7.3    | 0.30                     | 13.75 | 3.13     | 3.07 | 0.42   | 2.05 | 143.13  | 62.5  | 19.38  | 1.52 | 11.96 | 46.0 |
| 313   | Miga caucho     | Material inerte                                | 14.4   | 7.1  | 6.8    | 0.05                     | 1.85  | 0.10     | 0.05 | 0.09   | 0.15 | 6.25  | 0.65  | 140.62 | 0.42 | 41.64 | 6.0  |
| CULTIVO: MANI FORRAJERO   |                 |  |        | NOTA: Consulte al Ingeniero Agrónomo de la zona. |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |
| M.O. Walkley black  |                 | S: Fosfato monobásico de calcio                |        | Cationes: AcNH <sub>4</sub> 1N pH 7.0            |        | Elementos Menores: DTPA. |       | AF: KClN |      | <br><b>JULIO CESAR MORENO TORRES</b><br>Director Laboratorio de Suelos |      | Fecha de entrega<br>Día Mes Año<br>14 04 2014 |       |        |      |       |      |
| B: en frío HCL 0.05 M   |                 | P: Bray II                                     |        | pH 1:1 (Suelo : Agua)                            |        |                          |       |          |      |  |      |   |       |        |      |       |      |

TABLA Nº 1 RESUMEN GENERAL DE VALORES DE ELEMENTOS DISPONIBLE EN EL SUELO PARA INTERPRETAR ANALISIS QUIMICOS DE SUELOS (NIVELES CRITICOS)

| ELEMENTO                              |        |          | FUENTE                  | INTERPRETACION       |                  |                        |
|---------------------------------------|--------|----------|-------------------------|----------------------|------------------|------------------------|
|                                       |        |          |                         | B                    | M                | A                      |
| Calcio                                | (Ca)   | meq/100g | I.G.A.C, 1994           | <2                   | 2-5              | >5                     |
| Magnesio                              | (Mg)   | meq/100g | I.G.A.C, 1994           | <1                   | 1-2              | >2                     |
| Potasio                               | (K)    | meq/100g | I.G.A.C, 1994           | <0.15                | 0.15-0.3         | >0.3                   |
| Aluminio                              | (Al)   | meq/100g | Muñoz,<br>1985          | <1.5                 | 1.5-3.0          | >3.0                   |
| Materia Orgánica                      | (M.O)  | %        | I.G.A.C, 1994           | <2                   | 2-4              | >4.0                   |
| Azufre                                | (S)    | ppm      | I.G.A.C, 1994           | <8                   | 8-15             | >15                    |
| Fosforo                               | (P)    | ppm      | I.G.A.C, 1987           | <15                  | 15-30            | >30                    |
| <b>ELEMENTOS MENORES</b>              |        |          |                         |                      |                  |                        |
| Cobre                                 | (Cu)   | ppm      | Lora, R 1998            | <1                   | 1-3              | >3                     |
| Hierro                                | (Fe)   | ppm      | Lora, R. 1998           | <20                  | 20-40            | >40                    |
| Manganeso                             | (Mn)   | ppm      | Lora, R 1998            | <5                   | 5-10             | >10                    |
| Zinc                                  | (Zn)   | ppm      | Lora, R 1998            | <3                   | 3-6              | >6                     |
| Boro                                  | (B)    | ppm      | Lora, R 1998            | <0.2                 | 0.2-0.6          | >0.6                   |
| <b>PORCENTAJES DE SATURACION</b>      |        |          |                         |                      |                  |                        |
| Saturación de Bases                   | (SB)   | %        | I.G.A.C, 1987           | <20                  | 20-40            | >40                    |
| Saturación de Aluminio Intercambiable | (STAI) | %        | Muñoz, 1985             | <30                  | 30-60            | >60                    |
| Acidez en el Suelo                    | (pH)   | 1:1      | Sánchez y Salinas, 1980 | <4.5<br>muy<br>Acido | 4.5-5.5<br>Acido | >5.5-6.7<br>lig. Acido |

TOMADO: FUNDAMENTOS PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS.  
(S.C.C.S-1990)

Anexo B

|  |  | <b>ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS</b><br>Kilómetro 12 vía a Puerto López<br>Vereda Barcelona |   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
|---|--|---|---|---------------------|-----------|----------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------|------------|
|   |  | <b>SOLICITANTE: CLAUDIA M. PACHECO</b>  |   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
| <b>PROPIETARIO:</b>   |  |   | <b>FINCA</b>  |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
| <b>VEREDA:</b>  |  | <b>MUNICIPIO:</b><br>VILLAVICENCIO  |   | <b>DEPTO: META</b>  |           |                |                       |            |                         |           |            |
| <b>Nº LABORATORIO:</b>  |  |   | <b>Nº MUESTRA</b>   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
| LAB. Nº   | Muestra  | Textura<br>Rango  | M. O.<br>%  | P disponible<br>ppm | pH<br>1:1 | Al<br>meq/100g |                       |            |                         |           |            |
| 178   |  | Orgánico  | 22.11   | 298.20              | 6.40      | 36.0           |                       |            |                         |           |            |
| <b>Lote</b>   |  | <b>COMPLEJO DE CAMBIO meq / 100 g</b>   |   |                     |           |                | <b>SATURACIONES %</b> |            |                         |           |            |
| <b>Nº</b>   | <b>CIC</b>   | <b>BT</b>   | <b>Ca</b>   | <b>Mg</b>           | <b>K</b>  | <b>Na</b>      | <b>STB</b>            | <b>SCa</b> | <b>SMg</b>              | <b>SK</b> | <b>SAI</b> |
| 178   | 62.5   | 111.4   | 46.7  | 13.25               | 30.56     | 20.86          | -                     | 74.7       | 21.2                    | 48.89     | 24.40      |
| LAB   | <b>ELEMENTOS MENORES – Partes por Millón (ppm)</b> |   |   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
|   | <b>Cu</b>  | <b>Fe</b>   | <b>Mn</b>   | <b>Zn</b>           | <b>B</b>  | <b>S</b>       |                       |            |                         |           |            |
| 178   | 2.05   | 220.00  | 25.62   | 40.63               | 3.85      | 100.9          |                       |            |                         |           |            |
| <b>CULTIVO:</b>   |  |   |   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
|   |  |   |   |                     |           |                |                       |            |                         |           |            |
| <b>FECHA DE RECIBO</b>  |  |   | <b>Firma:</b>   |                     |           |                |                       |            | <b>FECHA DE ENTREGA</b> |           |            |
| 11  | 04   | 2014  | <br><b>JULIO CESAR MORENO</b><br>Laboratorio de Suelos |                     |           |                |                       |            | 04                      | 06        | 2014       |

**Anexo C**

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROPIEDADES HIDRÁULICAS**

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD - DATOS INICIALES**

| GCR    |                                   |            |            |                                   |            |            |                                    |            |            | Volumen recolectado |
|--------|-----------------------------------|------------|------------|-----------------------------------|------------|------------|------------------------------------|------------|------------|---------------------|
| Tiempo | H1 ( $\Delta h + Z1$ ) = 42.30 cm |            |            | H2 ( $\Delta h + Z1$ ) = 64.30 cm |            |            | H3 ( $\Delta h + Z1$ ) = 86.80 cm  |            |            | 1000 ml             |
|        | min                               | s          | Promedio   | min                               | s          | Promedio   | min                                | s          | Promedio   |                     |
| T1     | 1.08,76                           | 68.76      | 69.19 s    | 0.46,07                           | 46.07      | 48.51 s    | 0.31,22                            | 31.22      | 32.81 s    |                     |
| T2     | 1.09,82                           | 69.82      |            | 0.47,54                           | 47.54      |            | 0.32,53                            | 32.53      |            |                     |
| T3     | 1.09,00                           | 69.00      |            | 0.51,93                           | 51.93      |            | 0.34,67                            | 34.67      |            |                     |
| S1     |                                   |            |            |                                   |            |            |                                    |            |            | Volumen recolectado |
| Tiempo | H1 ( $\Delta h + Z1$ ) = 41.10 cm |            |            | H2 ( $\Delta h + Z1$ ) = 64.00 cm |            |            | H3 ( $\Delta h + Z1$ ) = 86.00 cm  |            |            | 500 ml              |
| T1     | 9.34,95                           | 574.95 s   | 649.26 s   | 4.42,33                           | 282.33 s   | 328.61 s   | 3.37,43                            | 217.43 s   | 253.13 s   |                     |
| T2     | 10.49,31                          | 649.31 s   |            | 4.52,95                           | 292.95 s   |            | 3.59,00                            | 239.00 s   |            |                     |
| T3     | 10.35,00                          | 635.00 s   |            | 5.46,00                           | 346.00 s   |            | 4.24,94                            | 264.94 s   |            |                     |
| T4     | 12.17,79                          | 737.79 s   |            | 6.33,17                           | 393.17 s   |            | 4.51,13                            | 291.13 s   |            |                     |
| S2     |                                   |            |            |                                   |            |            |                                    |            |            | Volumen recolectado |
| Tiempo | H1 ( $\Delta h + Z1$ ) = 42.00 cm |            |            | H2 ( $\Delta h + Z1$ ) = 65.00 cm |            |            | H3 ( $\Delta h + Z1$ ) = 86.50 cm  |            |            | 250 ml              |
| T1     | 19.24,71                          | 1,164.71 s | 1,254.80 s | 8.34,73                           | 514.73 s   | 541.80 s   | 7.32,94                            | 452.94 s   | 543.08 s   |                     |
| T2     | 19.47,45                          | 1,187.45 s |            | 8.51,47                           | 531.47 s   |            | 8.52,78                            | 532.78 s   |            |                     |
| T3     | 20.57,60                          | 1,257.60 s |            | 9.11,47                           | 551.47 s   |            | 9.35,04                            | 575.04 s   |            |                     |
| T4     | 23.29,42                          | 1,409.42 s |            | 9.29,54                           | 569.54 s   |            | 10.11,57                           | 611.57 s   |            |                     |
| S3     |                                   |            |            |                                   |            |            |                                    |            |            | Volumen recolectado |
| Tiempo | H1 ( $\Delta h + Z1$ ) = 79.50 cm |            |            | H2 ( $\Delta h + Z1$ ) = 87.00 cm |            |            | H3 ( $\Delta h + Z1$ ) = 129.70 cm |            |            | 250 ml              |
| T1     | 1.29.14,40                        | 5,354.40 s | 6,162.94 s | 37.20,05                          | 2,240.05 s | 2,247.47 s | 31.53,38                           | 1,910.38 s | 2,219.77 s |                     |
| T2     | 1.33.54,69                        | 5,634.69 s |            | 36.10,26                          | 2,170.26 s |            | 36.16,23                           | 2,176.23 s |            |                     |
| T3     | 1.39.29,96                        | 5,969.96 s |            | 37.50,08                          | 2,270.08 s |            | 36.50,66                           | 2,210.66 s |            |                     |
| T4     | 2.08.12,71                        | 7,692.71 s |            | 38.29,49                          | 2,309.49 s |            | 43.01,80                           | 2,581.80 s |            |                     |
| S4     |                                   |            |            |                                   |            |            |                                    |            |            | Volumen recolectado |
| Tiempo | H1 ( $\Delta h + Z1$ ) = 41.10 cm |            |            | H2 ( $\Delta h + Z1$ ) = 64.10 cm |            |            | H3 ( $\Delta h + Z1$ ) = 80.00 cm  |            |            | 500 ml              |
| T1     | 7.26,21                           | 446.21     | 560.68 s   | 2.39,55                           | 159.55     | 165.27 s   | 3.07,68                            | 187.68     | 187.02 s   |                     |
| T2     | 8.21,56                           | 501.56     |            | 2.43,32                           | 163.32     |            | 3.07,38                            | 187.38     |            |                     |
| T3     | 9.49,43                           | 589.43     |            | 2.47,78                           | 167.78     |            | 3.06,62                            | 186.62     |            |                     |
| T4     | 11.45,53                          | 705.53     |            | 2.50,41                           | 170.41     |            | 3.06,41                            | 186.41     |            |                     |

| PARAMETROS HIDRAULICOS             |   |                            |            |                          |                             |                          |                           |            |  |    |
|------------------------------------|---|----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------|--|----|
| GRANULOS DE CAUCHO RECICLADO - GCR |   |                            |            |                          |                             |                          |                           |            |  |    |
| Área                               | 40.26 cm <sup>2</sup>                               | Longitud de la muestra (L) | 13.76 cm   | Diametro del Permeametro | 7.16 cm                     |                          |                           |            |  |    |
| Altura $z_1$ del equipo =          | 12.847 cm   | Relación $\Delta L/A =$    | 0.34 cm-1  | Volumen percolado (V)    | 1,000.00 cm <sup>3</sup>    |                          |                           |            |  |    |
| $\Delta h + z_1$                   |   |                            | 42.30 cm   | 64.30 cm                 | 86.80 cm                    |                          |                           |            |  |    |
| $\Delta h$                         |   |                            | 29.45 cm   | 51.45 cm                 | 73.95 cm                    |                          |                           |            |  |    |
| Tiempo                             | 29.45 cm  | 51.45 cm                   | 73.95 cm   | Q                        | $\Delta h$                  | $\Delta Q$               | 17.50 cm <sup>3</sup> /s  | $\Delta h$ | 40.00 cm   |    |
| T1                                 | 68.76 s   | 69.19 s                    | 46.07 s    | 48.51 s                  | 31.22 s                     | 32.81 s                  | 14.45 cm <sup>3</sup> /s  | 29.45 cm   | Permeabilidad<br>$k = \frac{\Delta Q}{\Delta h}$ |    |
| T2                                 | 69.82 s   |                            | 47.54 s    |                          | 32.53 s                     |                          | 20.61 cm <sup>3</sup> /s  | 51.45 cm   |  |    |
| T3                                 | 69.00 s   | 51.93 s                    | 34.67 s    | 30.48 cm <sup>3</sup> /s | 73.95 cm                    |                          |                           |            |  |    |
| $Q = \frac{V}{t}$                  | Caudal (Q)  | 14.45 cm <sup>3</sup> /s   | Caudal (Q) | 20.61 cm <sup>3</sup> /s | Caudal (Q)                  | 30.48 cm <sup>3</sup> /s | Velocidad de Infiltración | t1         | t2   | t3 |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA<br>$k_s$  | $k_s = \frac{Q}{\Delta h} \cdot \frac{\Delta L}{A}$ |                            | 8.97 cm/h  | 0.15 cm/s                | $V_i = \frac{V}{A \cdot t}$ | 0.36 cm/s                | 0.51 cm/s                 | 0.76 cm/s  |  |    |
|                                    |   |                            |            |                          | PROMEDIO                    | 0.54 cm/s                |                           |            |  |    |

| PARAMETROS HIDRAULICOS             |                               |                             |                         |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| SUSTRATO S1                        |                               |                             |                         |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Área transversal (A)               | 40.21 cm <sup>2</sup>         | Longitud de la muestra (ΔL) | 13.76 cm                | Diametro del Permeámetro | 7.16 cm                 |                         |           |                           |                         |             |             |
| Altura z <sub>1</sub> del equipo = | 12.847 cm                     | Relación ΔL/A               | 0.34 cm <sup>-1</sup>   | Volumen percolado (V)    | 500 cm <sup>3</sup>     |                         |           |                           |                         |             |             |
| V                                  | Δh + z <sub>1</sub>           |                             | Δh                      |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| 500 cm <sup>3</sup>                | 41.10 cm                      | 64.00 cm                    | 86.00 cm                |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Tiempo                             | 28.25 cm                      | 51.15 cm                    | 73.15 cm                |                          |                         | Q                       | Δh        | ΔQ                        | 1.10 cm <sup>3</sup> /s | Δh          | 40.00 cm    |
| T1                                 | 574.95 s                      | 282.33 s                    | 217.43 s                |                          |                         | 0.77 cm <sup>3</sup> /s | 28.25 cm  | Permeabilidad             |                         | k = ΔQ / ΔH |             |
| T2                                 | 649.31 s                      | 292.95 s                    | 239.00 s                |                          |                         | 1.52 cm <sup>3</sup> /s | 51.15 cm  |                           |                         | 0.0275      |             |
| T3                                 | 635.00 s                      | 346.94 s                    | 264.94 s                |                          |                         | 1.98 cm <sup>3</sup> /s | 73.15 cm  | Velocidad de infiltración |                         | t1          | t2          |
| T4                                 | 737.79 s                      | 393.17 s                    | 291.13 s                |                          |                         |                         |           |                           |                         | t3          |             |
| CAUDAL                             | 0.77 cm <sup>3</sup> /s       | CAUDAL                      | 1.52 cm <sup>3</sup> /s | CAUDAL                   | 1.98 cm <sup>3</sup> /s | V <sub>i</sub> = V/A    |           |                           |                         | 0.0192 cm/s | 0.0378 cm/s |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, ks       | k <sub>s</sub> = Q / (Δh * A) |                             | 0.56 cm/h               | 0.0094 cm/s              |                         |                         | PROMEDIO  |                           | 0.0354 cm/s             |             |             |
| SUSTRATO S2                        |                               |                             |                         |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Área transversal (A)               | 40.21 cm <sup>2</sup>         | Longitud de la muestra (ΔL) | 13.76 cm                | Diametro del Permeámetro | 7.16 cm                 |                         |           |                           |                         |             |             |
| Altura z <sub>1</sub> del equipo = | 12.847 cm                     | Relación ΔL/A               | 0.34 cm <sup>-1</sup>   | Volumen percolado (V)    | 250 cm <sup>3</sup>     |                         |           |                           |                         |             |             |
| V                                  | Δh + z <sub>1</sub>           |                             | Δh                      |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| 250 cm <sup>3</sup>                | 42.00 cm                      | 65.00 cm                    | 86.50 cm                |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Tiempo                             | 29.15 cm                      | 52.15 cm                    | 73.65 cm                |                          |                         | Q                       | Δh        | ΔQ                        | 0.29 cm <sup>3</sup> /s | Δh          | 40.00 cm    |
| T1                                 | 1,164.71 s                    | 514.73 s                    | 452.94 s                |                          |                         | 0.20 cm <sup>3</sup> /s | 29.15 cm  | Permeabilidad             |                         | k = ΔQ / ΔH |             |
| T2                                 | 1,187.45 s                    | 531.47 s                    | 532.78 s                |                          |                         | 0.46 cm <sup>3</sup> /s | 52.15 cm  |                           |                         | 0.00725     |             |
| T3                                 | 1,257.60 s                    | 551.47 s                    | 575.04 s                |                          |                         | 0.46 cm <sup>3</sup> /s | 73.65 cm  | Velocidad de infiltración |                         | t1          | t2          |
| T4                                 | 1,409.42 s                    | 569.54 s                    | 611.57 s                |                          |                         |                         |           |                           |                         | t3          |             |
| CAUDAL                             | 0.20 cm <sup>3</sup> /s       | CAUDAL                      | 0.46 cm <sup>3</sup> /s | CAUDAL                   | 0.46 cm <sup>3</sup> /s | V <sub>i</sub> = V/A    |           |                           |                         | 0.0050 cm/s | 0.0115 cm/s |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, ks       | k <sub>s</sub> = Q / (Δh * A) |                             | 0.15 cm/h               | 0.0025 cm/s              |                         |                         | PROMEDIO  |                           | 0.0093 cm/s             |             |             |
| SUSTRATO S3                        |                               |                             |                         |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Área transversal (A)               | 40.21 cm <sup>2</sup>         | Longitud de la muestra (ΔL) | 13.76 cm                | Diametro del Permeámetro | 7.16 cm                 |                         |           |                           |                         |             |             |
| Altura z <sub>1</sub> del equipo = | 12.847 cm                     | Relación ΔL/A               | 0.34 cm <sup>-1</sup>   | Volumen percolado (V)    | 250 cm <sup>3</sup>     |                         |           |                           |                         |             |             |
| V                                  | Δh + z <sub>1</sub>           |                             | Δh                      |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| 250 cm <sup>3</sup>                | 79.50 cm                      | 87.00 cm                    | 129.70 cm               |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Tiempo                             | 66.65 cm                      | 74.15 cm                    | 116.85 cm               |                          |                         | Q                       | Δh        | ΔQ                        | 0.90 cm <sup>3</sup> /s | Δh          | 80.00 cm    |
| T1                                 | 5,354.40 s                    | 2,240.05 s                  | 1,910.38 s              |                          |                         | 0.04 cm <sup>3</sup> /s | 66.65 cm  | Permeabilidad             |                         | k = ΔQ / ΔH |             |
| T2                                 | 5,634.69 s                    | 2,170.26 s                  | 2,176.23 s              |                          |                         | 0.11 cm <sup>3</sup> /s | 74.15 cm  |                           |                         | 0.01125     |             |
| T3                                 | 5,969.96 s                    | 2,270.08 s                  | 2,210.66 s              |                          |                         | 0.11 cm <sup>3</sup> /s | 116.85 cm | Velocidad de infiltración |                         | t1          | t2          |
| T4                                 | 7,692.71 s                    | 2,309.49 s                  | 2,581.80 s              |                          |                         |                         |           |                           |                         | t3          |             |
| CAUDAL                             | 0.04 cm <sup>3</sup> /s       | CAUDAL                      | 0.11 cm <sup>3</sup> /s | CAUDAL                   | 0.11 cm <sup>3</sup> /s | V <sub>i</sub> = V/A    |           |                           |                         | 0.0010 cm/s | 0.0028 cm/s |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, ks       | k <sub>s</sub> = Q / (Δh * A) |                             | 0.23 cm/h               | 0.0039 cm/s              |                         |                         | PROMEDIO  |                           | 0.0022 cm/s             |             |             |
| S4                                 |                               |                             |                         |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Área transversal (A)               | 40.21 cm <sup>2</sup>         | Longitud de la muestra (ΔL) | 13.76 cm                | Diametro del Permeámetro | 7.16 cm                 |                         |           |                           |                         |             |             |
| Altura z <sub>1</sub> del equipo = | 12.847 cm                     | Relación ΔL/A               | 0.34 cm <sup>-1</sup>   | Volumen percolado (V)    | 500 cm <sup>3</sup>     |                         |           |                           |                         |             |             |
| V                                  | Δh + z <sub>1</sub>           |                             | Δh                      |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| 500 cm <sup>3</sup>                | 41.10 cm                      | 64.10 cm                    | 80.00 cm                |                          |                         |                         |           |                           |                         |             |             |
| Tiempo                             | 28.25 cm                      | 51.25 cm                    | 67.15 cm                |                          |                         | Q                       | Δh        | ΔQ                        | 2.00 cm <sup>3</sup> /s | Δh          | 40.00 cm    |
| T1                                 | 446.21 s                      | 159.55 s                    | 187.68 s                |                          |                         | 0.89 cm <sup>3</sup> /s | 28.25 cm  | Permeabilidad             |                         | k = ΔQ / ΔH |             |
| T2                                 | 501.56 s                      | 163.32 s                    | 187.38 s                |                          |                         | 3.03 cm <sup>3</sup> /s | 51.25 cm  |                           |                         | 0.05        |             |
| T3                                 | 589.43 s                      | 167.78 s                    | 186.62 s                |                          |                         | 2.67 cm <sup>3</sup> /s | 67.15 cm  | Velocidad de infiltración |                         | t1          | t2          |
| T4                                 | 705.53 s                      | 170.41 s                    | 186.41 s                |                          |                         |                         |           |                           |                         | t3          |             |
| CAUDAL                             | 0.89 cm <sup>3</sup> /s       | CAUDAL                      | 3.03 cm <sup>3</sup> /s | CAUDAL                   | 2.67 cm <sup>3</sup> /s | V <sub>i</sub> = V/A    |           |                           |                         | 0.0222 cm/s | 0.0752 cm/s |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, ks       | k <sub>s</sub> = Q / (Δh * A) |                             | 1.03 cm/h               | 0.0171 cm/s              |                         |                         | PROMEDIO  |                           | 0.0546 cm/s             |             |             |

Anexo D

FICHAS TÉCNICAS ESPECIES VEGETALES



Corpoica  
Compañía Colombiana de Investigaciones Agropecuarias



SISTEMA NACIONAL DE CENTROS DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b><i>Arachis pintoi</i></b><br/><b>(Mani Forrajero)</b></p>  <p><b>Origen:</b> Es nativo de Suramérica, específicamente de Brasil. En la actualidad se puede encontrar en los trópicos, los subtropicales y zonas ecuatoriales hasta los 2000 msnm.</p> <p><b>Descripción:</b> Es una hierba perenne que produce abundantes estolones y genera nuevas plantas en los nudos, lo cual favorece una cobertura rápida del suelo. Los tallos, que inicialmente están postrados, llegan a crecer en forma ascendente hasta alcanzar los 50 cm de altura. Hojas tetrafoliadas, con folíolos ovados de 4,5 cm x 3,5 cm.</p> | <p><b>Adaptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Suelos:</b> Crece de manera exitosa en suelos con pH entre 4.5 y 7.2. Aunque crece bien en zonas con suelos de media a alta fertilidad (con contenidos de Materia Orgánica superior al 3%), puede sobrevivir en suelos infértiles. No tolera sales, pero si tolera la saturación de aluminio y el encharcamiento.</li> <li><b>Luz:</b> Se ha reportado que crece mejor a la sombra que a plena exposición.</li> <li><b>Altitud:</b> 0 – 1800 msnm</li> <li><b>Temperatura:</b> 17 a 27°C</li> <li><b>Precipitación:</b> Aunque puede sobrevivir en zonas con precipitación anual inferior a 1000 mm, crece mejor en regiones con lluvia anual entre 1200 y 3000 mm.</li> </ul> <p><b>Enfermedades y Plagas:</b> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> han sido aislados de la hoja, asociado con lesiones de tallo negro en Colombia. También se ha observado tizón foliar <i>Rhizoctonia</i> y el virus del mosaico.</p> <p><b>Usos:</b> Cobertura de suelos, control de erosión y cobertura en cultivos permanentes.</p> | <p><b>Calidad nutricional:</b> Proteína Cruda 16 – 20% y digestibilidad 60 - 70%.</p> <p><b>Potencial de Producción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Forraje:</b> 500 y 700 kg MS/ha</li> <li><b>Animal:</b> Ganancia de peso 250 a 600 kg/ha/año</li> </ul> <p><b>Establecimiento:</b> Puede ser establecida a partir de material vegetativo o a través de semilla. No obstante, se ha comprobado que las plantas establecidas a partir de semilla desarrollan su sistema radical mucho más rápido. La semilla se siembra de 2 a 5 cm. de profundidad. La cantidad de semilla necesaria para sembrar una hectárea oscila entre 10 y 30 kg, lo cual depende de la densidad de siembra y de la cobertura deseada.</p> <p><b>Manejo:</b> Fertilización mínima (kg del elemento/ha) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 57,25, K<sub>2</sub>O: 24, MgO: 33, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 59,8. Aplicar fósforo al momento de la siembra, cada año aplicar una dosis de mantenimiento.</p> <p><b>Limitaciones:</b> Dificultad en el momento de la cosecha de la semilla por ser subterránea, esto aumenta los costos en el valor comercial final.</p> |
|--|--|--|

Fuente:

- Foto: Tropical Forages ([http://www.tropicalforages.info/kay/Forages/Media/Fhtml/Arachis\\_pintoi.htm](http://www.tropicalforages.info/kay/Forages/Media/Fhtml/Arachis_pintoi.htm))
- Ricoon, A. (Febrero-Abril de 1999). Mani forrajero (*Arachis pintoi*), la leguminosa para sistemas sostenibles de producción agropecuaria. *Información Técnica*, pag. 8.
- [http://www.tropicalforages.info/kay/Forages/Media/Fhtml/Arachis\\_pintoi.htm](http://www.tropicalforages.info/kay/Forages/Media/Fhtml/Arachis_pintoi.htm)
- Grupo de trabajo STDF, 2013



PROSPERIDAD PARA TODOS

|  |  |
|--|--|
|   |  |
| <p style="text-align: center;"><b><i>Pueraria phaseoloides</i></b><br/>(Kudzú)</p>  <p><b>Origen:</b> Es una especie originaria de las zonas templadas y subtropicales del este y suroeste de Asia, Malasia e Indonesia.</p> <p><b>Descripción:</b> Planta herbácea perenne de crecimiento rastroso, voluble y trepadora de hojas trifoliadas y de forma triangular ovalada, muy pubescentes en la superficie inferior. Flores de color púrpura, vaina ligeramente curvada y pubescente. Sistema radicular fuerte y profundo produce nódulos (fijación simbiótica de N) en forma natural.</p> | <p><b>Adaptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Suelos:</b> Crece bien en suelos ácidos y no tolera suelos salinos, soporta suelos encharcados y no resiste sobrepastoreo en suelos pobremente drenados.</li> <li>• <b>Luz:</b> Es de las especies de leguminosas que más tolera sombra.</li> <li>• <b>Altitud:</b> 0 - 2.000 msnm</li> <li>• <b>Temperatura:</b> 18 a 27 °C</li> <li>• <b>Precipitación:</b> 800- 3000 mm/año. Tolerancia bien la sequía (4 a 5 meses secos) y encharcamiento.</li> </ul> <p><b>Enfermedades y Plagas:</b> Para esta especie son pocos los reportes que se tienen de la incidencia de plagas y enfermedades. No obstante, algunas especies de coleópteros consumen el follaje y pueden causar pérdidas considerables de producción.</p> <p><b>Usos:</b> Abono verde, cobertura, banco de proteína y pastoreo.</p> <p><b>Calidad nutricional:</b> Proteína cruda 18 - 22 % y digestibilidad 55-60%</p> <p><b>Potencial de Producción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Forraje:</b> 5 - 6 t MS/ha/año.</li> <li>• <b>Animal:</b> Asociada con <i>Andropogon gayanus</i> se obtienen 500-600 g/animal/día con cargas de 2 - 2.5 animales/ha. Producción de carne/ha entre 350 y 400 kg/año. Piedemonte Eb+Pp con carga de 3 animales/ha, en pastoreo alterno, produjo ganancias diarias de 472 y 518 g.</li> </ul> <p><b>Establecimiento:</b> Se propaga por semilla escarificada (mecánica o químicamente) Establecimiento de bancos se siembran de 4 a 6 kg/ha y en asociación con gramíneas entre 3 a 4 kg/ha.</p> <p><b>Manejo:</b> Fertilización mínima (kg del elemento/ha) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 57,25, K<sub>2</sub>O: 24, MgO: 33, SO<sub>4</sub>: 59,8. Aunque la fertilización depende del análisis de suelos, se recomienda aplicar fósforo en el momento de la siembra y hacer fertilizaciones de mantenimiento (fósforo, potasio, magnesio) cada año para afrontar la época de lluvias.</p> <p><b>Limitaciones:</b> En pastoreo si no se maneja bien y en asociación su persistencia es baja, poca apetencia por los animales durante los primeros 15 días debido a la pubescencia. Requiere suelos de mediana fertilidad.</p> |
| <p><small>Fuente:</small></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foto: Henry Mateu. Kudzu; [<a href="http://www.tropicalforages.info/ley/Forages/Media/Final/Pueraria_phaseoloides.htm">http://www.tropicalforages.info/ley/Forages/Media/Final/Pueraria_phaseoloides.htm</a>]</li> <li>• de Puerari-Netto, A., Gehrmán, A., &amp; Pinto, H. (1999). Aspects of leaf anatomy of kudzu (<i>Pueraria lobata</i>, Leguminosae-Fabaceae) related to water and energy balance. <i>Peq. Agropec. Bras.</i>, 34 (8), 1361-1365.</li> <li>• Grupo de trabajo STDF, 2013</li> </ul>   |  |
|    |  |

**Grama Brasileira (Axonopus Compressus)**



**Césped perenne de estación cálida ciclo P-V-O:**

Suntuario, muy denso de textura gruesa y color verde medio. Forma una carpeta mullida muy vistosa y ornamental que por lo cerrado de su trama dificulta el establecimiento de malezas. Se adapta a media sombra, soporta tránsito y tiene buena capacidad de recuperación en caso de deterioro. Requiere aplicación de hierro en la implantación y dentro del esquema de mantenimiento.

**Usos Principales**

Parques y jardines.

**FICHA TECNICA**

Condición

Requerimientos

**Adaptación**

**Ambientes:** Templados a subtropicales húmedos. Asoleados a media sombra.  
**Requerimiento lumínico:** Medio.  
**Suelos:** Franco arenosos a pesados y ácidos. PH de 4,5 a 7. Si el PH es 7 o superior se produce clorosis.  
**Agua de riego:** De buena calidad, no tolera salinidad, tolera inundaciones temporarias.

**Mantenimiento**

**Tasa de crecimiento:** Media - Altura de corte de 2,5 a 5 cm.  
**Riego:** abundante en época cálida, poco tolerante a sequías.  
**Fertilización:** 2 por año P-O. No exceder el nitrógeno. Alto requerimiento en hierro. Solicite Aquí el Programa Específico de Fertilización a EDIN

[http://www.edin.com.ar/cesped\\_gramabrasilera\\_panes\\_tepes\\_alfombras\\_fertilizacion\\_mantenimiento\\_ampliada.htm](http://www.edin.com.ar/cesped_gramabrasilera_panes_tepes_alfombras_fertilizacion_mantenimiento_ampliada.htm)

12

Anexo E

FICHA TÉCNICA LAMINA SIKA DRENAJE 32T

HOJA TÉCNICA  
Versión: 01/2012  
Lámina Sika Drenaje 32T

**Lámina Sika Drenaje 32T**  
Lámina Drenante de Polietileno de Alta Densidad

Construcción

**DESCRIPCIÓN** Lámina de polietileno extruido de alta densidad con nódulos de 7 mm. La unión de las láminas puede ser realizada mediante sistemas de fijación mecánica mediante abotonamiento de los nódulos o con sellantes de caucho butilo SikaLastomer.

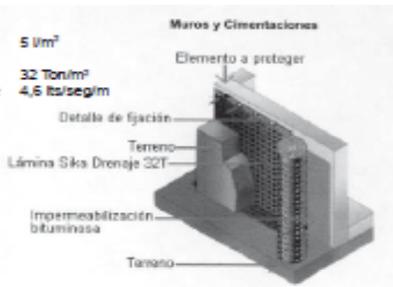
**USOS** Se usa cuando se requiere agilizar el drenaje de aguas lluvias, aguas de escorrentía, aguas subterráneas y aguas de nivel freático en:

- Cubiertas verdes
- Jardineras
- Muros subterráneos
- Muros de contención
- Zapatas y fundaciones impermeabilizadas con emulsiones bituminosas.
- Túneles

**VENTAJAS**

- Fácil fijación y traslape mediante abotonamiento de los nódulos o con sellantes de caucho butilo SikaLastomer.
- Alta resistencia al aplastamiento, maximizada gracias a la de punta de estrella de los nódulos.
- Buena resistencia química.
- Resistente a impacto y abrasión.
- Resistente a raíces.
- No genera putrefacción.
- Sistema económico de protección.

| DATOS TÉCNICOS     |   |
|--------------------|---|
| Apariencia         | Membrana de color negro                                 |
| Presentación       | Rollos de 2 m de ancho y 25 m de largo.                 |
| Almacenamiento     | Proteger de la acción directa del sol y de las heladas. |
| Tipo               | HDPE (Polietileno de alta densidad)                     |
| Espesor            | 0,44 mm   |
| <b>Propiedades</b> |   |
| Mecánicas/físicas  |   |
| Volumen de aire    | 5 l/m <sup>2</sup>                                      |
| Contenido          |   |
| Resistencia al     | 32 Ton/m <sup>2</sup>                                   |
| Aplastamiento      |   |
| Capacidad drenante | 4,6 lts/seg/m   |



Anexo F

TABLAS DE PRECIPITACIÓN

| INFORMACION AMBIENTAL         |              | VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACION (mms) |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         | SISTEMA DE NACIONAL |
|-------------------------------|--------------|--|-----------------|-----------|---------------|-------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| FECHA DE PROCESO : 2014/06/15 |              | ANO 2014                                       |                 |           |               |                   | ESTACION : 35035070 |         |         |         |         |                     |
| LATITUD                       | 0404 N       | TIPO EST                                       | CP              | DEPTO     | META          | FECHA-INSTALACION |                     |         |         |         |         |                     |
| 1983-OCT                      |              | ENTIDAD  | 01 IDEAM        | MUNICIPIO | VILLAVICENCIO | FECHA-SUSPENSION  |                     |         |         |         |         |                     |
| LONGITUD                      | 7334 W       | REGIONAL                                       | 03 META-GUAVIAR | CORRIENTE | GUATIQUIA     |                   |                     |         |         |         |         |                     |
| ELEVACION                     | 0340 m.s.n.m |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         |                     |
| *****                         |              |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         |                     |
| DICIE *                       | DIA          | ENERO *  | FEBRE *         | MARZO *   | ABRIL *       | MAYO *            | JUNIO *             | JULIO * | AGOST * | SEPTI * | OCTUB * | NOVIE *             |
| *****                         |              |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 01           | .0   | .0              | 12.0      | 14.8 1        | 1.0               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 02           | .0   | .0              | 2.3 1     | 22.0          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 03           | .0   | .0              | .0        | 4.0           | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 04           | 2.0  | .0              | .0        | 150.0         | 7.2 1             |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 05           | .0   | .0              | .0        | 5.0           | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 06           | .0   | .3              | 1.2       | 57.0          | 23.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 07           | .0   | .0              | .0        | 2.0           | 1.8               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 08           | .0   | .0              | .2 1      | 18.0          | 78.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 09           | .0   | .0              | 46.0      | 19.0          | 50.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 10           | .0   | .0              | .0        | 1.7           | 9.4               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 11           | .0   | .0              | .0        | .0            | 9.0               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 12           | .0   | .0              | .0        | .0            | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 13           | .0   | .0              | .0        | .0            | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 14           | .0   | .0              | 34.0      | 64.0          | 2.3 1             |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 15           | .0   | .0              | .0        | 8.8 1         | 5.4               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 16           | .0   | .0              | .0        | 21.0          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 17           | 6.1  | .0              | .0        | 6.1 1         | 36.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 18           | 6.7 1  | .0              | .7        | .0            | 46.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 19           | .0   | .0              | 3.2 1     | 7.5           | 16.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 20           | .0   | .0              | .0        | 13.5          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 21           | .0   | .0              | .0        | .3 1          | 2.5               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 22           | .0   | .0              | .0        | 15.0          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 23           | .0   | .0              | 10.5 1    | 86.0          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 24           | .0   | 1.5             | 12.4 1    | 6.0           | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 25           | .0   | 4.7             | .0        | 32.0          | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 26           | .0   | 14.0            | 8.9 1     | 3.4           | 5.0               |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 27           | .0   | 39.0            | .5        | 44.0          | 25.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 28           | .0   | 34.0            | .0        | 40.0          | 24.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 29           | .0   | .0              | .0        | 3.4           | .0                |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 30           | .0   | .0              | .0        | 2.0           | 19.0              |                     |         |         |         |         |                     |
|                               | 31           | .0   | .0              | .0        |               | 7.7 1             |                     |         |         |         |         |                     |
| TOTAL                         |              | 9.3 3  | 93.5            | 131.9     | 646.5         | 368.3             |                     |         |         |         |         |                     |
| No DE DIAS LLUVIA             |              | 3 3  | 6               | 12        | 26            | 19                |                     |         |         |         |         |                     |
| MAXIMA EN 24 Hrs              |              | 6.7 3  | 39.0            | 46.0      | 150.0         | 78.0              |                     |         |         |         |         |                     |
| ** DATOS PRELIMINARES **      |              | *** VALORES ANUALES ***                        |                 |           |               |                   | ** ORIGENES DE      |         |         |         |         |                     |
| DATO **                       |              | TOTAL  |                 |           |               |                   | 1249.5              |         |         |         |         | 1 :                 |
| REGISTRADOS                   |              |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         | 3 :                 |
| INCOMPLETOS                   |              |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         |                     |
|                               |              |  |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         |                     |
| INFORMACION AMBIENTAL         |              | VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACION (mms) |                 |           |               |                   |                     |         |         |         |         | SISTEMA DE NACIONAL |

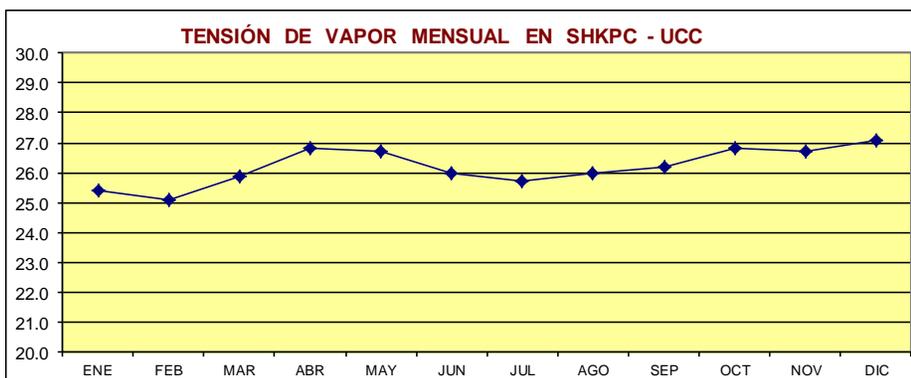
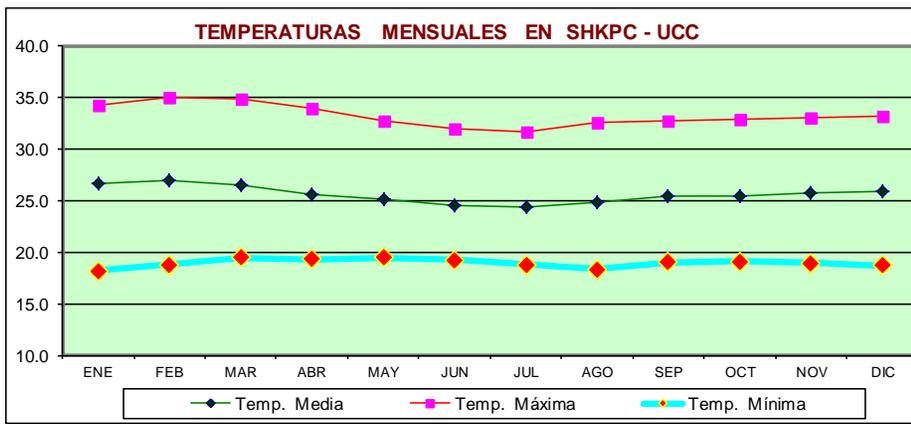
Anexo F

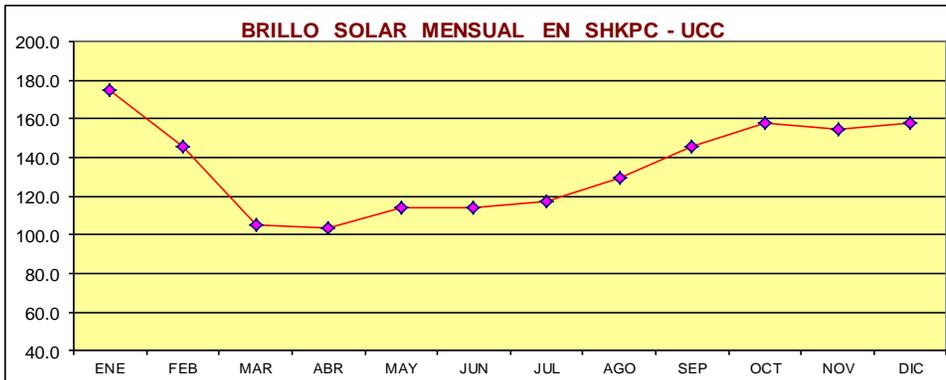
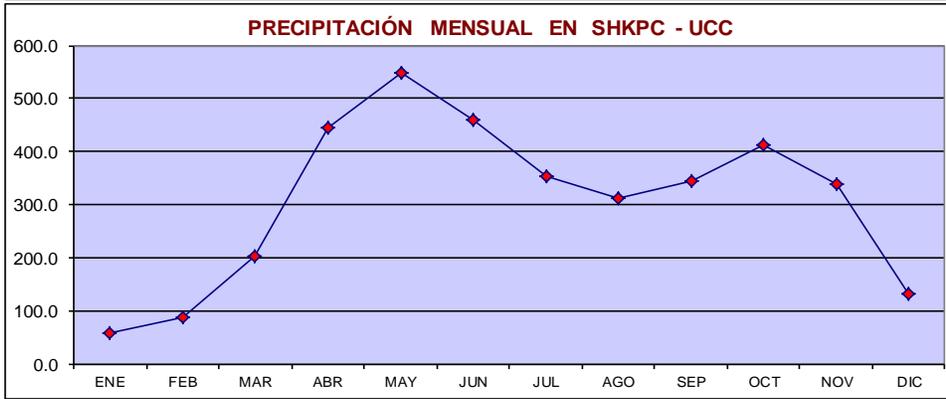
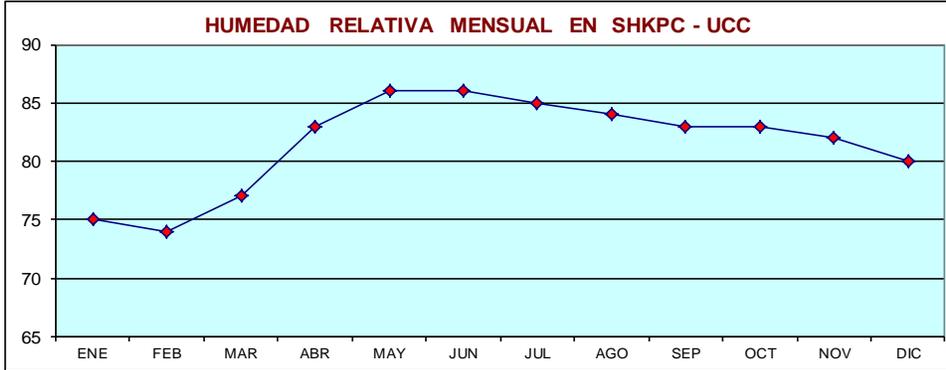
| INFORMACION AMBIENTAL         |             | VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACION (mms) |                         |           |               |                   | SISTEMA NACIONAL        |         |         |         |         |
|-------------------------------|-------------|--|-------------------------|-----------|---------------|-------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| FECHA DE PROCESO : 2014/06/15 |             | ANO 2014                                       |                         |           |               |                   | ESTACION : 35030370 ICA |         |         |         |         |
| LATITUD                       | 0408 N      | TIPO EST                                       | PM                      | DEPTO     | META          | FECHA-INSTALACION |                         |         |         |         |         |
| 2006-MAY                      |             |  |                         |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
| LONGITUD                      | 7337 W      | ENTIDAD REGIONAL                               | 01 IDEAM                | MUNICIPIO | VILLAVICENCIO | FECHA-SUSPENSION  |                         |         |         |         |         |
| ELEVACION                     | 444 m.s.n.m |  | 03 META-GUAVIAR         | CORRIENTE | GUATIQUIA     |                   |                         |         |         |         |         |
| *****                         |             |  |                         |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
| DIA                           | ENERO *     | FEBRE *  | MARZO *                 | ABRIL *   | MAYO *        | JUNIO *           | JULIO *                 | AGOST * | SEPTI * | OCTUB * | NOVIE * |
| *****                         |             |  |                         |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
| DICIE *                       | *****       |  |                         |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
| *****                         |             |  |                         |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
| 01                            | .0          | .0   | 10.0                    | 25.0      | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 02                            | .0          | .0   | 2.0                     | 9.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 03                            | .0          | .0   | .0                      | 4.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 04                            | .0          | .0   | .0                      | 60.0      | 29.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 05                            | 1.0         | .0   | .0                      | 6.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 06                            | .0          | .0   | 55.0                    | 85.0      | 26.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 07                            | .0          | .0   | 2.0                     | 20.0      | 24.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 08                            | .0          | .0   | .0                      | 19.0      | 89.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 09                            | .0          | .0   | 59.0                    | 4.0       | 18.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 10                            | .0          | .0   | .0                      | .0        | 6.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 11                            | .0          | .0   | .0                      | .0        | 5.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 12                            | .0          | .0   | .0                      | .0        | 14.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 13                            | .0          | .0   | 14.0                    | .0        | 8.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 14                            | .0          | .0   | .0                      | 58.0      | 10.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 15                            | 10.0        | .0   | .0                      | 11.0      | 6.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 16                            | .0          | .0   | .0                      | 2.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 17                            | 1.0         | .0   | .0                      | 6.0       | 68.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 18                            | 19.0        | .0   | 9.0                     | .0        | 33.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 19                            | .0          | .0   | .0                      | 5.0       | 12.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 20                            | .0          | .0   | .0                      | 8.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 21                            | .0          | .0   | .0                      | 4.0       | 12.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 22                            | .0          | .0   | .0                      | 24.0      | 1.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 23                            | .0          | .0   | 14.0                    | 75.0      | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 24                            | .0          | 2.0  | 33.0                    | 10.0      | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 25                            | .0          | 7.0  | .0                      | 26.0      | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 26                            | .0          | 9.0  | 4.0                     | 13.0      | 9.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 27                            | .0          | 89.0   | .0                      | 34.0      | 19.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| 28                            | .0          | 1.0  | .0                      | 41.0      | 9.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 29                            | .0          | .0   | .0                      | 2.0       | .0            |                   |                         |         |         |         |         |
| 30                            | .0          | .0   | .0                      | 11.0      | 8.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| 31                            | .0          | .0   | .0                      |           | 2.0           |                   |                         |         |         |         |         |
| TOTAL                         | 31.0        | 108.0  | 202.0                   | 562.0     | 408.0         |                   |                         |         |         |         |         |
| No DE DIAS LLUVIA             | 4           | 5  | 10                      | 25        | 21            |                   |                         |         |         |         |         |
| MAXIMA EN 24 Hrs              | 19.0        | 89.0   | 59.0                    | 85.0      | 89.0          |                   |                         |         |         |         |         |
| ** DATOS PRELIMINARES **      |             |  | *** VALORES ANUALES *** |           |               |                   |                         |         |         |         |         |
|                               |             |  | TOTAL                   | 1311.0    |               |                   |                         |         |         |         |         |
|                               |             |  | No DE DIAS LLUVIA       | 65        |               |                   |                         |         |         |         |         |
|                               |             |  | MAXIMA EN 24 Hrs        | 89.0      |               |                   |                         |         |         |         |         |

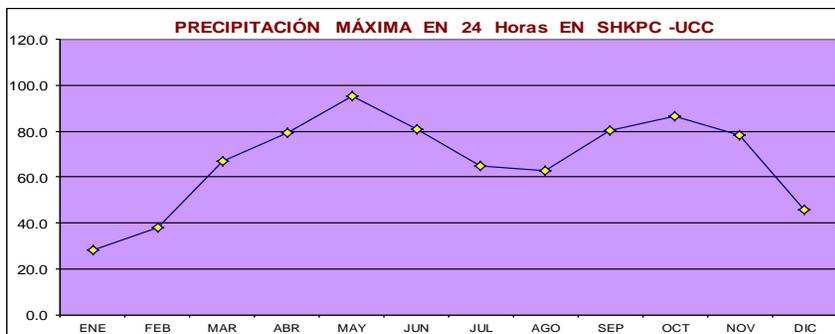
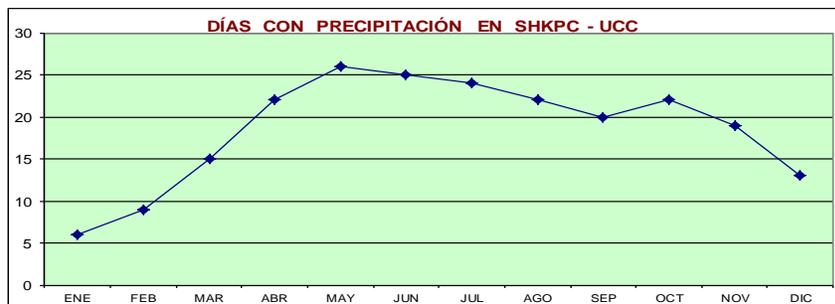
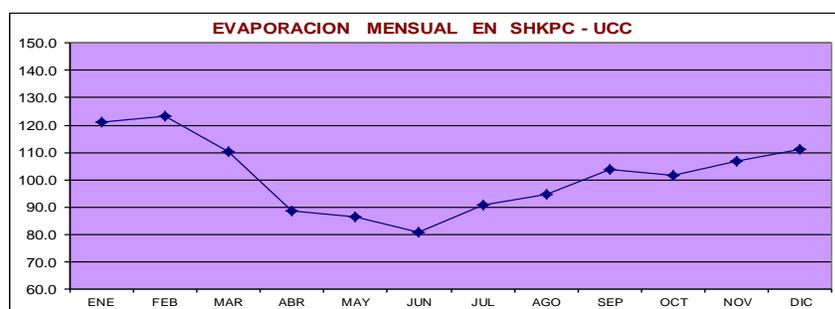
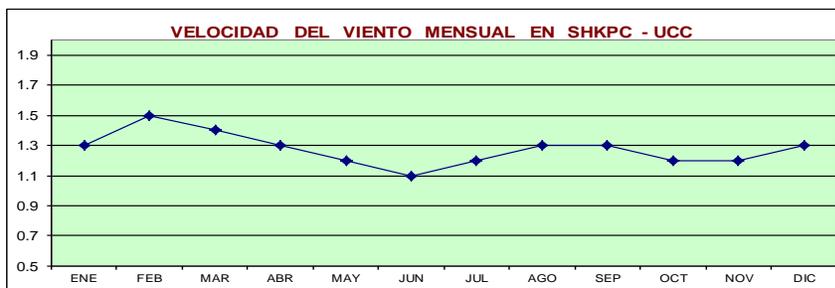
Anexo F

| PARAMETRO           | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   | ANUAL         |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Temp. Media         | 26.6  | 26.9  | 26.5  | 25.6  | 25.1  | 24.5  | 24.3  | 24.8  | 25.4  | 25.5  | 25.7  | 25.9  | <b>25.6</b>   |
| Temp. Máxima        | 34.2  | 35.0  | 34.8  | 34.0  | 32.8  | 31.9  | 31.7  | 32.6  | 32.8  | 32.9  | 33.0  | 33.2  | <b>33.2</b>   |
| Temp. Mínima        | 18.2  | 18.8  | 19.5  | 19.3  | 19.5  | 19.2  | 18.8  | 18.3  | 19.0  | 19.1  | 18.9  | 18.7  | <b>18.9</b>   |
| Tensión Vapor       | 25.4  | 25.1  | 25.9  | 26.8  | 26.7  | 26.0  | 25.7  | 26.0  | 26.2  | 26.8  | 26.7  | 27.1  | <b>26.2</b>   |
| Humedad Relativa    | 75    | 74    | 77    | 83    | 86    | 86    | 85    | 84    | 83    | 83    | 82    | 80    | <b>82</b>     |
| Precipitación Total | 59.0  | 89.0  | 204.0 | 444.0 | 547.0 | 461.0 | 354.0 | 313.0 | 345.0 | 412.0 | 339.0 | 133.0 | <b>3700.0</b> |
| Número de Días      | 6     | 9     | 15    | 22    | 26    | 25    | 24    | 22    | 20    | 22    | 19    | 13    | <b>223</b>    |
| Máximas 24 Horas    | 28.4  | 38.0  | 67.0  | 79.2  | 95.4  | 80.7  | 65.0  | 63.0  | 80.1  | 86.3  | 78.4  | 45.8  | <b>67.3</b>   |
| Brillo Solar        | 175.0 | 145.7 | 105.4 | 103.4 | 114.2 | 113.6 | 117.4 | 129.3 | 145.3 | 157.7 | 154.2 | 157.5 | <b>1618.7</b> |
| Velocidad Viento    | 1.3   | 1.5   | 1.4   | 1.3   | 1.2   | 1.1   | 1.2   | 1.3   | 1.3   | 1.2   | 1.2   | 1.3   | <b>1.3</b>    |
| Evaporación         | 121.2 | 123.4 | 110.3 | 88.6  | 86.6  | 80.9  | 90.8  | 94.9  | 103.6 | 101.5 | 106.9 | 111.3 | <b>1220.0</b> |

**Cuadro 3. Resumen Climático Sector del SHKPC\_UCC en Villavicencio**







**Anexo G**

**FORMATO DE SEGUIMIENTO**

**VEGETACIÓN**

| FECHA      | BLOQUE 1 |    |    |    | BLOQUE 2 |    |    |    | BLOQUE 3 |    |    |    | BLOQUE 4 |    |    |    | BLOQUE T |    |    |    |
|------------|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|
|            | S1       | S2 | S3 | S4 |
| COBERTURA  |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| No. FLORES |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COLOR      |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| ALTURA     |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
|            |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COBERTURA  |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| No. FLORES |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COLOR      |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| ALTURA     |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
|            |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COBERTURA  |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| No. FLORES |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COLOR      |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| ALTURA     |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
|            |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COBERTURA  |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| No. FLORES |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COLOR      |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| ALTURA     |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
|            |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COBERTURA  |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| No. FLORES |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| COLOR      |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |
| ALTURA     |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |          |    |    |    |

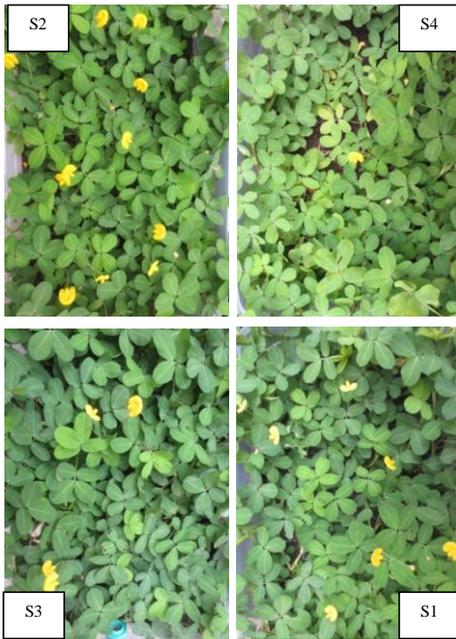
**Anexo H**

**INTOXICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL**





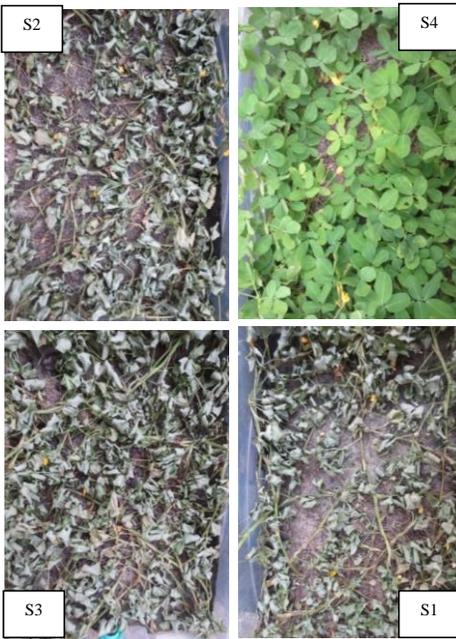
BLOQUE 3 viernes 23 de mayo



BLOQUE 3 sábado 24 de mayo



BLOQUE 3 domingo 25 de



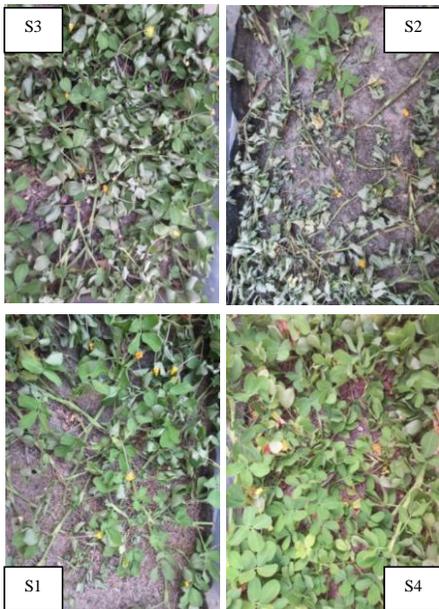
BLOQUE 4 viernes 23 de



BLOQUE 4 sábado 24 de mayo



BLOQUE 4 domingo 25 de



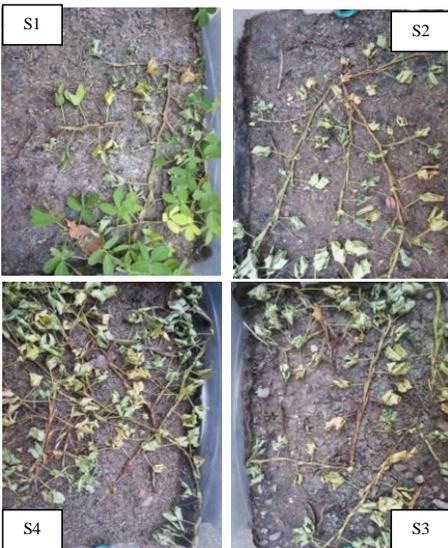
BLOOUE T viernes 23 de mayo



BLOOUE T sábado 24 de mayo



BLOOUE T domingo 25 de mayo





**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**  
 ESCUELA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
**LABORATORIO DE SUELOS**



Fecha de recibido  
 Día Mes Año  
 09 06 2014

---

**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS**

SOLICITANTE: CLAUDIA MARCELA PACHECO – Trabajo de investigación.

MUNICIPIO: VILLAVICENCIO DEPARTAMENTO: META

FINCA: VEREDA:

| Muestra Lab. No. | Ident. de campo | Text. Tacto | M.O. % | P. ppm | pH 1:1 | CATIONES meq/100g suelos |       |      |      |      |      | CATIONES (ppm) |       |       | CIC Meq/ 100g |       |
|------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|--------------------------|-------|------|------|------|------|----------------|-------|-------|---------------|-------|
|                  |                 |             |        |        |        | Al                       | Ca    | Mg   | K    | Na   | Cu   | Fe             | Mn    | Zn    |               | B     |
| 309              | S1              |             | 1.20   | 58.8   | 4.8    | 5.6                      | 3.44  | 0.56 | 0.23 | 0.03 | 2.55 | 85.62          | 46.25 | 4.80  | 4.80          | 90.46 |
| 312              | S4              |             | 32.5   | 166.7  | 4.3    | 10.4                     | 11.73 | 3.60 | 0.24 | 0.05 | 3.80 | 260.0          | 15.87 | 52.50 | 2.61          | 72.37 |

CULTIVO: MANI FORRAJERO. NOTA: Consulte al Ingeniero Agrónomo de la zona.

M.O. Walkley black  
 S: Fosfato monobásico de calcio  
 Cationes: AcNH4, 1N pH 7.0  
 Elementos Menores: DTPA.  
 Al: KClIN



**JULIO CESAR MORENO TORRES**  
 Director Laboratorio de Suelos

B: en frío HCL 0.05 M  
 P: Bray II  
 pH 1:1 (Suelo : Agua)

Fecha de entrega  
 Día Mes Año  
 13 .06 2014

Misma D

**INFORME DAÑO MATERIA VEGETAL**

Con la asesoría de la doctora Judith Guevara (Magister en entomología), se realizó el siguiente procedimiento, se verificó la presencia de agentes adversos como patógenos y plagas mediante pruebas de laboratorio de la siguiente manera:

1. En Fitopatología para verificar la presencia o ausencia de patógenos.
2. En Fisiología para verificar anomalías en el desarrollo de las plantas
3. En Entomología para revisar el follaje y raíz, para descartar o aceptar la posible presencia de Trips (Thysanoptera), insectos chupadores de raíces y estructuras de la planta

Se llevó la muestra al laboratorio para realizar los ensayos de aislamiento en tejido vegetal, en entre nudos y suelo; buscando bacterias (pseudomona) y hongos (Rhizoctonia).

**Procedimiento:** se tomó la muestra, se limpió con agua destilada esteril, se sumergió en hipoclorito de Na al 0.5%, se dejó por dos minutos, se retiró el exceso, se limpió nuevamente con agua destilada, se llevó a la cámara de flujo laminar para realizar el protocolo de siembra en dos medios de cultivo:

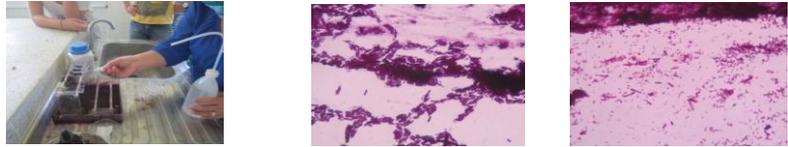
- . PDA
- . Agar Nutriente

Se llevaron las muestras a la cámara de flujo laminar, se flamearon las cajas petri para eliminar exceso de agua, las pinzas para eliminar esporas, se seca el material vegetal con ayuda de un paño, se siembra la muestra, se cierran las cajas, se flamean y se sellan con papel vinipel.

Se sembraron muestras de materia vegetal y suelo de los sustratos S1 y S4.



**Resultados Revisión Bacterias:** se revisaron al microscopio las muestras dejadas en agar nutriente, para revisar el crecimiento bacteriano, para lo cual fue necesario aplicarle tinción de Gram en un portaobjetos, se aplicó cristal violeta (30 segundos), lugol (30 segundos), alcohol al 96% (12 segundos) y safranina (30 segundos).



Tinción de Gram

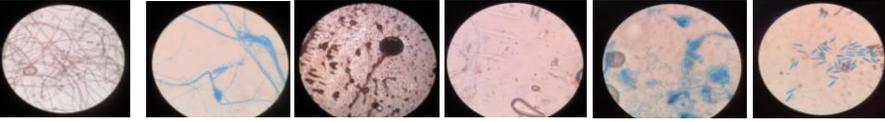
S1: bacterias gram positivas (bacilos color morado)

S4: bacterias gram negativas (bacilos color rosa) y gram positivas (bacilos color morado)

Se observó para los dos sustratos movimiento peritricial y polar, presencia de bacterias gram negativas y gram positivas en S1, y bacterias gram positivas para S4, para los dos casos se observaron bacilos.

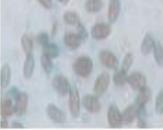
**Resultados Revisión Hongos:** se revisaron al microscopio las muestras dejadas en PDA, para revisar el crecimiento de colonias de hongos, para lo cual fue necesario aplicarle azul de lactofenol en un portaobjetos. La observación al microscopio arrojó los siguientes resultados:

| HONGO       | MEDIO DE CULTIVO: PDA |       |                 |       |
|-------------|-----------------------|-------|-----------------|-------|
|             | SUSTRATO S1           |       | SUSTRATO S4     |       |
|             | Materia Vegetal       | Suelo | Materia Vegetal | Suelo |
| Rhizoctonia | X                     | X     | X               |       |
| Curvularia  | X                     |       | X               |       |
| Mucor       | X                     | X     | X               | X     |
| fusarium    | X                     |       | X               |       |
| Aspergillus |                       |       | X               |       |
| Penicillium |                       | X     |                 |       |

| INFORME DAÑO MATERIA VEGETAL   |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|
| <p><b>Revisión Camara Humeda:</b> Debido a que se evidenció que las plantas de las probetas comenzaron a retoñar se quiso verificar mediante camara humeda, que no se estuviera desarrollando con mayor fuerza un agente patogeno, por lo que se sembró en camara húmeda materia vegetal de retoño, encontrando los siguientes resultados:</p> |                    |                    |
| HONGO  | CAMARA HUMEDA      |                    |
|  | MATERIA VEGETAL S1 | MATERIA VEGETAL S4 |
| Colletotrichum   | X                  | X                  |
| Alternaria   | X                  | X                  |
| fusarium   | X                  | X                  |
| Curvularia   | X                  | X                  |

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
|   | <p>Materia vegetal S1, despues de 3 dias en camara húmeda, se aprecia con buen aspecto. Color de las hojas verdes, sin marchitarse.</p> <p>Sin presencia de mal olor.</p> |    |    |    |
|  | <p>Materia vegetal S4, despues de 3 dias en camara húmeda, se aprecia marchita, hojas amarillas y cafés.</p>  |  |  |  |

Anexo I

TABLA DE DATOS DE COBERTURA

| BLOQUE  | SUSTRATO | DATOS DE COBERTURA |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |       |
|---------|----------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
|         |          | feb-19             | feb-26 | mar-04 | mar-11 | mar-18 | mar-25 | mar-31 | abr-05 | abr-10 | abr-15 | abr-20 | abr-25 | abr-30 | may-05 | may-11 | may-15 | may-20 | may-23 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |       |
|         | S4       | 21.1               | 23.4   | 22.9   | 22.2   | 26.3   | 52.7   | 47.0   | 79.0   | 41.8   | 93.1   | 46.9   | 88.6   | 55.7   | 90.6   | 45.2   | 96.8   | 52.0   | 71.2   | 68.7 | 89.0 | 68.2 | 94.3 | 83.3 | 96.2 | 86.9 | 99.7 | 87.2 | 98.9 | 94.1 | 97.4 | 98.9 | 99.7  | 98.3 | 99.8  | 98.1  | 99.9  |
| BLOQUE1 | S1       | 6.7                | 8.6    | 15.0   | 12.1   | 15.8   | 33.6   | 11.7   | 17.2   | 14.0   | 31.1   | 20.0   | 32.7   | 43.6   | 35.0   | 27.9   | 38.5   | 40.6   | 44.3   | 93.4 | 93.4 | 90.9 | 75.1 | 96.0 | 70.2 | 98.8 | 89.1 | 99.4 | 92.7 | 99.8 | 98.9 | 99.1 | 99.6  | 99.5 | 98.3  | 99.3  | 99.4  |
|         | S3       | 3.8                | 2.5    | 4.1    | 6.1    | 5.5    | 10.5   | 4.5    | 20.4   | 4.6    | 14.5   | 12.5   | 33.1   | 17.0   | 34.9   | 8.6    | 21.7   | 20.3   | 57.6   | 23.2 | 38.5 | 28.6 | 90.4 | 36.2 | 94.7 | 67.9 | 94.2 | 73.5 | 89.2 | 84.4 | 97.3 | 85.5 | 99.0  | 92.9 | 98.7  | 93.3  | 99.9  |
|         | S2       | 10.7               | 9.4    | 17.9   | 19.4   | 32.5   | 24.1   | 29.4   | 22.6   | 49.0   | 24.2   | 35.2   | 22.0   | 44.5   | 31.9   | 27.2   | 32.5   | 93.9   | 38.5   | 79.4 | 38.4 | 84.7 | 68.7 | 88.9 | 67.2 | 98.8 | 86.8 | 95.9 | 85.7 | 96.6 | 93.9 | 97.7 | 93.7  | 96.0 | 97.1  | 99.8  | 100.0 |
|         | S2       | 23.8               | 17.9   | 34.6   | 23.2   | 34.5   | 29.3   | 40.5   | 36.4   | 21.6   | 47.6   | 11.2   | 45.4   | 28.9   | 42.2   | 22.1   | 57.8   | 40.4   | 73.4   | 63.9 | 85.9 | 79.4 | 95.4 | 83.8 | 95.7 | 90.0 | 99.3 | 92.2 | 96.9 | 96.7 | 99.7 | 99.5 | 100.0 | 99.1 | 99.9  | 100.0 | 100.0 |
| BLOQUE2 | S4       | 19.7               | 30.6   | 24.8   | 30.7   | 31.7   | 36.6   | 32.0   | 47.3   | 47.0   | 49.5   | 81.9   | 89.8   | 77.7   | 66.5   | 55.4   | 67.5   | 70.0   | 76.2   | 82.8 | 83.3 | 87.3 | 87.8 | 94.8 | 95.6 | 98.1 | 97.1 | 96.4 | 99.4 | 98.2 | 98.7 | 99.6 | 99.6  | 99.3 | 99.3  | 100.0 | 100.0 |
|         | S1       | 6.6                | 11.9   | 10.1   | 12.9   | 36.1   | 35.9   | 16.2   | 30.2   | 26.5   | 55.9   | 32.9   | 62.3   | 26.9   | 71.5   | 29.0   | 58.8   | 40.3   | 38.0   | 56.7 | 86.2 | 67.4 | 89.1 | 85.6 | 93.4 | 87.7 | 99.7 | 88.9 | 99.1 | 97.0 | 99.6 | 98.4 | 100.0 | 98.7 | 100.0 | 98.9  | 100.0 |
|         | S3       | 5.9                | 11.8   | 12.4   | 32.3   | 23.2   | 40.8   | 37.8   | 45.8   | 15.1   | 59.1   | 39.8   | 65.4   | 34.8   | 78.1   | 30.3   | 68.1   | 65.2   | 74.2   | 58.8 | 81.9 | 47.7 | 83.6 | 88.9 | 87.7 | 81.7 | 95.7 | 91.1 | 98.6 | 97.4 | 99.4 | 98.3 | 99.1  | 91.5 | 99.6  | 100.0 | 99.1  |
|         | S3       | 9.3                | 5.0    | 14.5   | 5.4    | 27.6   | 19.3   | 29.8   | 27.7   | 44.3   | 37.3   | 53.3   | 41.1   | 62.3   | 52.6   | 61.6   | 59.0   | 68.3   | 59.4   | 75.6 | 96.9 | 83.0 | 95.1 | 94.8 | 97.4 | 95.7 | 99.0 | 96.6 | 95.6 | 99.3 | 97.3 | 99.9 | 100.0 | 99.3 | 99.4  | 99.2  | 100.0 |
| BLOQUE3 | S2       | 7.2                | 5.3    | 19.1   | 6.7    | 26.2   | 16.2   | 3.6    | 19.8   | 32.6   | 24.9   | 40.5   | 26.6   | 50.4   | 28.7   | 37.6   | 25.9   | 46.8   | 35.0   | 83.8 | 21.0 | 82.2 | 46.2 | 82.6 | 86.5 | 89.9 | 87.3 | 86.3 | 93.3 | 98.9 | 98.9 | 95.7 | 99.9  | 99.5 | 99.6  | 100.0 | 99.7  |
|         | S4       | 7.1                | 25.3   | 7.3    | 21.3   | 15.8   | 46.0   | 13.1   | 45.8   | 16.1   | 64.4   | 17.0   | 43.7   | 20.0   | 92.4   | 23.9   | 75.0   | 37.7   | 87.9   | 32.0 | 84.8 | 54.9 | 89.3 | 53.0 | 95.7 | 53.1 | 99.9 | 73.0 | 98.8 | 90.3 | 99.1 | 98.4 | 99.0  | 99.3 | 99.2  | 96.1  | 99.7  |
|         | S1       | 12.2               | 6.7    | 32.9   | 30.7   | 36.8   | 33.8   | 23.0   | 12.9   | 49.6   | 13.5   | 53.8   | 13.5   | 46.4   | 26.3   | 50.1   | 35.8   | 87.0   | 33.2   | 69.5 | 42.6 | 64.5 | 44.9 | 67.3 | 45.4 | 92.7 | 53.4 | 88.7 | 79.8 | 98.0 | 90.3 | 99.2 | 96.2  | 97.8 | 92.8  | 99.1  | 98.4  |
|         | S1       | 7.7                | 3.5    | 30.6   | 2.8    | 34.4   | 19.1   | 12.7   | 1.7    | 15.7   | 7.5    | 22.2   | 3.8    | 26.9   | 7.7    | 29.3   | 6.2    | 35.3   | 7.4    | 31.0 | 18.0 | 35.3 | 28.3 | 46.6 | 43.7 | 41.7 | 27.7 | 43.9 | 43.0 | 68.6 | 60.6 | 71.6 | 87.3  | 85.4 | 91.2  | 91.9  | 98.8  |
| BLOQUE4 | S3       | 3.1                | 4.3    | 4.8    | 5.8    | 5.3    | 4.5    | 8.8    | 3.4    | 8.7    | 5.8    | 7.5    | 8.0    | 24.6   | 8.5    | 18.4   | 13.6   | 41.4   | 17.3   | 83.8 | 25.3 | 85.1 | 31.5 | 96.7 | 32.8 | 92.7 | 35.8 | 97.8 | 80.2 | 98.6 | 94.2 | 99.7 | 98.9  | 99.0 | 98.5  | 100.0 | 97.0  |
|         | S2       | 4.7                | 2.8    | 1.8    | 2.2    | 5.8    | 4.1    | 12.2   | 11.6   | 11.8   | 11.3   | 19.6   | 19.4   | 20.4   | 18.4   | 25.3   | 27.7   | 28.8   | 44.6   | 36.3 | 26.5 | 40.7 | 57.6 | 43.5 | 52.9 | 55.3 | 70.6 | 55.5 | 85.0 | 62.0 | 88.4 | 65.6 | 95.9  | 63.5 | 94.6  | 79.9  | 97.0  |
|         | S4       | 14.1               | 13.1   | 20.3   | 14.4   | 30.2   | 26.8   | 34.1   | 29.4   | 59.4   | 40.4   | 75.4   | 46.0   | 67.5   | 63.5   | 71.3   | 63.8   | 68.4   | 64.2   | 76.0 | 82.6 | 88.3 | 85.9 | 85.4 | 90.4 | 90.9 | 98.1 | 88.7 | 98.6 | 90.3 | 99.5 | 95.4 | 99.2  | 94.0 | 98.6  | 99.7  | 98.3  |
|         | S4       | 7.2                | 7.0    | 5.2    | 18.2   | 15.4   | 30.8   | 17.9   | 42.8   | 26.9   | 59.4   | 31.7   | 78.9   | 38.3   | 79.7   | 18.6   | 53.0   | 20.4   | 8.4    | 29.6 | 75.7 | 33.5 | 88.2 | 42.4 | 83.5 | 41.7 | 87.4 | 42.0 | 86.4 | 47.9 | 87.8 | 48.0 | 91.2  | 47.4 | 80.2  | 50.4  | 89.0  |
| BLOQUE5 | S1       | 3.9                | 5.1    | 9.1    | 6.8    | 13.3   | 19.1   | 20.2   | 26.9   | 8.7    | 1.2    | 6.0    | 3.5    | 2.1    | 2.9    | 1.3    | 7.9    | 19.2   | 6.8    | 9.0  | 7.6  | 10.9 | 11.2 | 10.7 | 9.4  | 11.7 | 16.3 | 8.2  | 18.7 | 13.1 | 35.3 | 14.7 | 38.7  | 15.6 | 39.3  | 29.0  | 62.0  |
|         | S2       | 4.2                | 1.9    | 11.4   | 0.0    | 21.9   | 5.6    | 23.1   | 6.8    | 12.1   | 11.5   | 16.5   | 15.8   | 16.4   | 7.5    | 13.4   | 14.3   | 19.3   | 32.5   | 25.0 | 23.9 | 23.2 | 15.1 | 21.6 | 19.6 | 25.7 | 22.0 | 26.3 | 22.2 | 31.0 | 21.2 | 27.9 | 39.4  | 49.7 | 48.5  | 42.1  | 82.4  |
|         | S3       | 2.7                | 21.9   | 5.8    | 15.4   | 19.8   | 36.5   | 26.1   | 61.4   | 10.8   | 10.2   | 10.2   | 11.6   | 22.6   | 16.9   | 21.9   | 15.3   | 63.8   | 25.4   | 36.6 | 26.7 | 32.5 | 31.6 | 28.8 | 41.4 | 39.9 | 41.4 | 39.5 | 40.5 | 39.1 | 47.5 | 37.4 | 47.8  | 43.9 | 62.5  | 41.6  | 71.6  |

Datos afectados por la presencia de pasto

Fecha desde la que cambiaron las condiciones de evaluación en el programa

**Anexo J**

**TABLA DE DATOS DE CANTIDAD DE FLORES ABIERTAS**

| FECHA     | BLOQUE 1 |    |    |    | BLOQUE 2 |    |    |    | BLOQUE 3 |    |    |    | BLOQUE 4 |    |    |    | BLOQUE T |    |    |    | FLORES PROMEDIO |    |    |    | FLORES PROMEDIO |    |    |    |    |
|-----------|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|-----------------|----|----|----|-----------------|----|----|----|----|
|           | S1       | S2 | S3 | S4 | S1              | S2 | S3 | S4 | B1              | B2 | B3 | B4 | BT |
| 05-abr-14 | 3        | 1  | 0  | 3  | 1        | 1  | 0  | 1  | 1        | 0  | 0  | 2  | 0        | 0  | 0  | 0  | 0        | 0  | 0  | 1  | 0               | 0  | 1  | 2  | 1               | 1  | 0  | 0  |    |
| 07-abr-14 | 1        | 2  | 0  | 1  | 0        | 0  | 4  | 0  | 1        | 3  | 3  | 1  | 0        | 0  | 1  | 2  | 0        | 0  | 0  | 0  | 0               | 1  | 2  | 1  | 1               | 1  | 2  | 1  | 0  |
| 08-abr-14 | 4        | 1  | 0  | 0  | 1        | 1  | 2  | 0  | 0        | 4  | 1  | 3  | 0        | 1  | 0  | 1  | 0        | 0  | 0  | 0  | 1               | 1  | 1  | 1  | 1               | 1  | 2  | 1  | 0  |
| 09-abr-14 | 1        | 3  | 0  | 6  | 2        | 3  | 3  | 1  | 2        | 7  | 3  | 2  | 0        | 1  | 0  | 0  | 0        | 0  | 1  | 0  | 1               | 3  | 1  | 2  | 3               | 2  | 4  | 0  | 0  |
| 10-abr-14 | 4        | 2  | 0  | 0  | 3        | 2  | 1  | 2  | 2        | 1  | 2  | 1  | 0        | 0  | 1  | 4  | 0        | 0  | 0  | 0  | 2               | 1  | 1  | 1  | 2               | 2  | 2  | 1  | 0  |
| 11-abr-14 | 2        | 1  | 0  | 2  | 0        | 0  | 2  | 0  | 0        | 1  | 1  | 5  | 1        | 2  | 1  | 2  | 0        | 0  | 0  | 0  | 1               | 1  | 1  | 2  | 1               | 1  | 2  | 2  | 0  |
| 12-abr-14 | 1        | 1  | 1  | 4  | 2        | 4  | 0  | 3  | 0        | 0  | 1  | 2  | 0        | 0  | 2  | 3  | 0        | 0  | 0  | 0  | 1               | 1  | 1  | 2  | 2               | 2  | 1  | 1  | 0  |
| 13-abr-14 | 1        | 1  | 0  | 1  | 4        | 0  | 1  | 3  | 0        | 3  | 2  | 2  | 0        | 0  | 0  | 4  | 0        | 0  | 0  | 0  | 1               | 1  | 1  | 2  | 1               | 2  | 2  | 1  | 0  |
| 15-abr-14 | 3        | 0  | 0  | 3  | 6        | 2  | 2  | 2  | 1        | 3  | 3  | 2  | 0        | 0  | 3  | 5  | 0        | 1  | 1  | 0  | 2               | 1  | 2  | 2  | 2               | 3  | 2  | 2  | 1  |
| 16-abr-14 | 2        | 2  | 1  | 5  | 3        | 4  | 3  | 2  | 2        | 5  | 5  | 4  | 0        | 2  | 4  | 5  | 0        | 0  | 1  | 1  | 3               | 3  | 3  | 3  | 3               | 3  | 4  | 3  | 0  |
| 20-abr-14 | 4        | 3  | 1  | 1  | 2        | 5  | 1  | 1  | 3        | 3  | 3  | 2  | 0        | 1  | 3  | 1  | 0        | 0  | 1  | 0  | 2               | 2  | 2  | 1  | 2               | 2  | 3  | 1  | 0  |
| 21-abr-14 | 8        | 1  | 0  | 10 | 6        | 4  | 6  | 3  | 3        | 4  | 7  | 3  | 0        | 1  | 0  | 2  | 1        | 0  | 1  | 0  | 4               | 2  | 3  | 4  | 5               | 5  | 4  | 1  | 1  |
| 22-abr-14 | 3        | 3  | 1  | 4  | 5        | 2  | 1  | 3  | 2        | 1  | 4  | 2  | 0        | 1  | 3  | 2  | 0        | 2  | 1  | 0  | 2               | 2  | 2  | 2  | 3               | 3  | 2  | 2  | 1  |
| 23-abr-14 | 6        | 2  | 2  | 3  | 5        | 2  | 4  | 3  | 1        | 4  | 5  | 2  | 1        | 0  | 7  | 4  | 0        | 0  | 0  | 0  | 3               | 2  | 4  | 2  | 3               | 4  | 3  | 3  | 0  |
| 25-abr-14 | 3        | 2  | 1  | 1  | 10       | 2  | 0  | 3  | 1        | 2  | 2  | 2  | 0        | 0  | 4  | 6  | 0        | 0  | 0  | 0  | 3               | 1  | 1  | 2  | 2               | 4  | 2  | 3  | 0  |
| 27-abr-14 | 7        | 0  | 2  | 4  | 4        | 4  | 1  | 2  | 0        | 4  | 4  | 2  | 1        | 2  | 6  | 4  | 0        | 0  | 0  | 1  | 2               | 2  | 3  | 3  | 3               | 3  | 3  | 3  | 0  |
| 29-abr-14 | 6        | 2  | 0  | 3  | 5        | 3  | 5  | 3  | 3        | 7  | 8  | 1  | 1        | 0  | 4  | 1  | 0        | 1  | 0  | 0  | 3               | 3  | 3  | 2  | 3               | 4  | 5  | 2  | 0  |
| 30-abr-14 | 9        | 1  | 3  | 4  | 9        | 6  | 5  | 5  | 2        | 2  | 9  | 1  | 0        | 2  | 5  | 9  | 0        | 0  | 0  | 1  | 4               | 2  | 4  | 4  | 4               | 6  | 4  | 4  | 0  |
| 01-may-14 | 8        | 3  | 3  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 0        | 4  | 2  | 3  | 1        | 0  | 6  | 4  | 0        | 1  | 0  | 1  | 3               | 2  | 3  | 3  | 4               | 4  | 2  | 3  | 1  |
| 02-may-14 | 8        | 3  | 1  | 5  | 6        | 5  | 0  | 5  | 1        | 5  | 9  | 3  | 1        | 1  | 8  | 2  | 0        | 2  | 0  | 1  | 3               | 3  | 4  | 3  | 4               | 4  | 5  | 3  | 1  |
| 03-may-14 | 8        | 6  | 3  | 5  | 10       | 5  | 5  | 4  | 2        | 4  | 6  | 0  | 0        | 2  | 3  | 9  | 0        | 0  | 0  | 0  | 4               | 3  | 3  | 4  | 6               | 6  | 3  | 4  | 0  |
| 04-may-14 | 9        | 3  | 2  | 4  | 6        | 3  | 0  | 3  | 0        | 0  | 0  | 3  | 2        | 1  | 4  | 8  | 0        | 0  | 0  | 0  | 3               | 1  | 1  | 4  | 5               | 3  | 1  | 4  | 0  |
| 05-may-14 | 8        | 1  | 2  | 7  | 6        | 6  | 1  | 6  | 1        | 1  | 3  | 4  | 0        | 0  | 6  | 7  | 0        | 1  | 1  | 1  | 3               | 2  | 3  | 5  | 5               | 5  | 2  | 3  | 1  |
| 06-may-14 | 11       | 1  | 4  | 5  | 10       | 6  | 0  | 5  | 3        | 0  | 5  | 0  | 1        | 3  | 10 | 5  | 0        | 0  | 0  | 0  | 5               | 2  | 4  | 3  | 5               | 5  | 2  | 5  | 0  |
| 07-may-14 | 15       | 0  | 2  | 2  | 7        | 4  | 5  | 8  | 3        | 2  | 2  | 1  | 1        | 1  | 6  | 5  | 0        | 0  | 0  | 1  | 5               | 1  | 3  | 3  | 5               | 6  | 2  | 3  | 0  |
| 08-may-14 | 8        | 2  | 1  | 4  | 10       | 3  | 6  | 4  | 3        | 1  | 3  | 0  | 2        | 1  | 5  | 7  | 0        | 0  | 0  | 1  | 5               | 1  | 3  | 3  | 4               | 6  | 2  | 4  | 0  |
| 09-may-14 | 13       | 1  | 6  | 2  | 10       | 8  | 4  | 4  | 3        | 2  | 5  | 3  | 2        | 0  | 6  | 6  | 0        | 0  | 1  | 2  | 6               | 2  | 4  | 3  | 6               | 7  | 3  | 4  | 1  |
| 11-may-14 | 11       | 4  | 1  | 1  | 7        | 3  | 6  | 4  | 6        | 3  | 5  | 4  | 3        | 3  | 7  | 3  | 0        | 0  | 2  | 1  | 5               | 3  | 4  | 3  | 4               | 5  | 5  | 4  | 1  |
| 12-may-14 | 9        | 3  | 4  | 2  | 8        | 3  | 8  | 5  | 4        | 3  | 4  | 7  | 1        | 3  | 5  | 6  | 0        | 1  | 1  | 4  | 4               | 3  | 4  | 5  | 5               | 6  | 5  | 4  | 2  |
| 13-may-14 | 14       | 3  | 4  | 1  | 10       | 3  | 7  | 6  | 6        | 4  | 6  | 2  | 2        | 3  | 7  | 1  | 0        | 1  | 2  | 1  | 6               | 3  | 5  | 2  | 6               | 7  | 5  | 3  | 1  |
| 14-may-14 | 17       | 5  | 2  | 5  | 5        | 10 | 4  | 1  | 5        | 6  | 8  | 6  | 3        | 2  | 5  | 4  | 1        | 0  | 0  | 1  | 6               | 5  | 4  | 3  | 7               | 5  | 6  | 4  | 1  |
| 15-may-14 | 9        | 5  | 5  | 4  | 14       | 5  | 3  | 4  | 10       | 4  | 4  | 3  | 2        | 4  | 8  | 9  | 0        | 2  | 0  | 2  | 7               | 4  | 4  | 4  | 6               | 7  | 5  | 6  | 1  |
| 17-may-14 | 10       | 6  | 9  | 5  | 5        | 8  | 14 | 5  | 6        | 6  | 10 | 4  | 4        | 4  | 10 | 3  | 3        | 0  | 1  | 1  | 6               | 5  | 9  | 4  | 8               | 8  | 7  | 5  | 1  |
| 20-may-14 | 10       | 4  | 2  | 4  | 11       | 8  | 12 | 9  | 13       | 14 | 12 | 1  | 3        | 6  | 10 | 3  | 1        | 3  | 1  | 3  | 8               | 7  | 7  | 4  | 5               | 10 | 10 | 6  | 2  |
| 21-may-14 | 12       | 3  | 9  | 2  | 22       | 12 | 11 | 2  | 10       | 17 | 9  | 2  | 6        | 7  | 13 | 6  | 0        | 3  | 2  | 3  | 10              | 8  | 9  | 3  | 7               | 12 | 10 | 8  | 2  |
| 23-may-14 | 22       | 8  | 11 | 1  | 15       | 7  | 16 | 7  | 17       | 17 | 13 | 4  | 7        | 7  | 12 | 8  | 0        | 2  | 1  | 0  | 12              | 8  | 11 | 4  | 11              | 11 | 13 | 9  | 1  |

**Anexo K**

**TABLA DE CUANTIFICACIÓN DEL COLOR DE LA COBERTURA VEGETAL**

| FECHA     | BLOQUE 1 |    |    |    | BLOQUE 2 |    |    |    | BLOQUE 3 |    |    |    | BLOQUE 4 |    |    |    | BLOQUE T |    |    |    | COLOR PROMEDIO |    |    |    | COLOR PROMEDIO |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|----------------|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
|           | S1       | S2 | S3 | S4 | S1             | S2 | S3 | S4 | S1             | S2 | S3 | S4 | B1 | B2 | B3 | B4 |
| 09-abr-14 | 5        | 4  | 5  | 2  | 3        | 3  | 2  | 1  | 3        | 2  | 2  | 2  | 2        | 2  | 3  | 3  | 1        | 3  | 2  | 2  | 3              | 3  | 3  | 3  | 2              | 4  | 2  | 2  | 3  | 2  |    |    |
| 10-abr-14 | 4        | 3  | 4  | 2  | 3        | 3  | 3  | 1  | 3        | 3  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  |    |    |
| 11-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 4        | 4  | 3  | 1  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 3        | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  |    |    |
| 12-abr-14 | 4        | 2  | 3  | 2  | 4        | 3  | 3  | 1  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 3  | 3  | 2        | 3  | 2  | 3  | 3              | 2  | 3  | 3  | 2              | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |    |    |
| 13-abr-14 | 2        | 3  | 3  | 2  | 3        | 2  | 3  | 2  | 3        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 3  | 2        | 3  | 2  | 2  | 2              | 2  | 2  | 3  | 2              | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  |    |    |
| 15-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 3        | 4  | 3  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 2  | 3  | 2        | 3  | 2  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3  | 2  |    |    |
| 16-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 3        | 3  | 3  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 3        | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |    |    |
| 20-abr-14 | 4        | 2  | 4  | 2  | 4        | 4  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 3  | 2  | 4  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |    |    |
| 21-abr-14 | 4        | 2  | 4  | 2  | 4        | 4  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 3  | 2  | 2  | 3        | 2  | 2  | 3  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3  | 2  |    |    |
| 22-abr-14 | 4        | 2  | 4  | 2  | 4        | 4  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 2  | 2  | 3              | 2  | 3  | 2  | 3              | 2  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 23-abr-14 | 4        | 3  | 4  | 2  | 4        | 4  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 2  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3  | 2  |    |    |
| 25-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 3        | 3  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 1  | 1  | 2  | 3              | 2  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |    |    |
| 27-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 3        | 3  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 1  | 2  | 3              | 2  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |    |    |
| 29-abr-14 | 4        | 3  | 3  | 2  | 4        | 3  | 2  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 2  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 30-abr-14 | 4        | 4  | 3  | 2  | 4        | 4  | 3  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 3              | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 01-may-14 | 5        | 4  | 4  | 2  | 4        | 4  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 4              | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 03-may-14 | 5        | 4  | 4  | 2  | 4        | 4  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 4              | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 04-may-14 | 5        | 3  | 4  | 2  | 5        | 4  | 3  | 2  | 2        | 3  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 3  | 2        | 1  | 2  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 05-may-14 | 5        | 3  | 4  | 2  | 5        | 4  | 3  | 3  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 3  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 2  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 06-may-14 | 5        | 3  | 4  | 2  | 4        | 4  | 3  | 3  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 3              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 2  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 08-may-14 | 5        | 4  | 4  | 2  | 5        | 4  | 4  | 2  | 4        | 2  | 2  | 2  | 2        | 2  | 3  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 3  | 2  | 2  | 2  |    |    |
| 09-may-14 | 5        | 4  | 4  | 2  | 5        | 4  | 4  | 2  | 4        | 4  | 4  | 2  | 2        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 4  | 3              | 4  | 2  | 4  | 4              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 11-may-14 | 5        | 4  | 5  | 3  | 5        | 4  | 4  | 3  | 4        | 3  | 4  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 4  | 3              | 4  | 2  | 4  | 4              | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  |    |    |
| 12-may-14 | 5        | 4  | 4  | 3  | 5        | 4  | 4  | 3  | 4        | 3  | 4  | 2  | 3        | 2  | 5  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 4  | 2  | 4              | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 13-may-14 | 5        | 4  | 4  | 3  | 5        | 4  | 4  | 3  | 4        | 3  | 4  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 14-may-14 | 5        | 4  | 4  | 3  | 5        | 4  | 4  | 3  | 3        | 3  | 4  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 3  | 2  | 4              | 4  | 3  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 15-may-14 | 5        | 4  | 4  | 4  | 4        | 4  | 4  | 2  | 4        | 4  | 4  | 2  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 4  | 3              | 4  | 2  | 4  | 4              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 17-may-14 | 5        | 4  | 5  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 3        | 2  | 4  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 4  | 2  | 4              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 20-may-14 | 5        | 4  | 4  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 3        | 2  | 4  | 3  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 3  | 3  | 4              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 21-may-14 | 5        | 4  | 4  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 4        | 4  | 4  | 3  | 3        | 2  | 4  | 3  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 3  | 3  | 3  | 4              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |
| 23-may-14 | 5        | 5  | 5  | 3  | 5        | 4  | 4  | 4  | 4        | 5  | 4  | 3  | 4        | 2  | 5  | 2  | 2        | 2  | 1  | 1  | 4              | 4  | 4  | 3  | 5              | 4  | 4  | 3  | 2  | 2  |    |    |



Anexo M

MANUAL SOFTWARE COBCAL

# CobCal

Guía rápida

**Instituto Nacional de  
Investigación Agropecuaria**  
**ESA C. del Uruguay**  
[www.inta.gov.uy/tema/act/1/](http://www.inta.gov.uy/tema/act/1/)

---

CobCal

**CobCal v1.0**

La determinación de cobertura vegetal en una zona que demanda tiempo y debe ser realizada por personal con experiencia. El objetivo de CobCal es evaluar esta tarea de manera rápida, sencilla y eficaz.

Para ello utiliza fotos digitales de la superficie vegetal. Basándose en colorimetría determina el porcentaje de cobertura, pudiéndose definir tanto para determinaciones de estratos, cultivo o maderas siempre que sea posible (dentro de variaciones de color). Si la foto presenta un área de 40x20 m, lo posible modificar este valor) permite calcular superficies independientemente de la distancia focal utilizada.

CobCal permite realizar estimaciones con un error de estimación menor al 5% comparado con los métodos tradicionales - método de cuadros a campo (Campbell y Arnold, 1973) y el método visual de comparación con patrones estandarizados (Brown, 1994; Mosler, et al., 1964).

La agilidad de CobCal permite comparar en forma relativa las diferencias por el notable aumento de imágenes posibles de obtener en un mismo tiempo.

**Autores**  
 Ferraz, Diego M., Pozzolo, Oscar R. y Ferraz Horvati J.  
 Estación Experimental Agropecuaria INTA, Concepción del Uruguay  
 Ruta Pan de Azúcar 1455, CP 3260, CC 6,  
 Entre Ríos, Argentina.  
 Sitio web: <http://www.inta.gov.uy/conceptos/>  
 Email: [cobcalcep@correa.inta.gov.uy](mailto:cobcalcep@correa.inta.gov.uy)  
 Teléfono: 0800-222-INTA

**Contacto**  
 Ferraz, Diego M.: [diego.ferraz@gmail.com](mailto:diego.ferraz@gmail.com)  
 Ing. Agr. Pozzolo, Oscar R.: [opozzolo@correa.inta.gov.uy](mailto:opozzolo@correa.inta.gov.uy)  
 Ing. Agr. Ferraz, Horvati J.: [agordorandi@ibrocc.com.ar](mailto:agordorandi@ibrocc.com.ar)

**AUNQUE HAN SIDO TOMADAS TODAS LAS PRECAUCIONES AL MOMENTO DE LA PREPARACIÓN DE ESTA GUÍA, EL AUTOR NO ASUME NINGUNA RESPONSABILIDAD ACERCA DE ERRORES U OMISIONES, O POR LOS DAÑOS QUE PUEDERA CAUSAR LA INFORMACIÓN AQUÍ CONTENIDA.**

---

CobCal

**Interfaz del programa**

- 1 Lista de archivos**  
 Listado de los archivos de imágenes cargados en la aplicación. Haciendo clic en uno de ellos lo carga en el visor para procesarlo.
- 2 Imagen actual**  
 Porción de la imagen donde se muestra la imagen con la que se está trabajando. También allí se define el círculo delimitador.
- 3 Círculo delimitador**  
 Círculo utilizado para definir el área de la imagen a procesar. Para ello además usar su diámetro como parámetro para calcular la superficie procesada.
- 4 Columnas**  
 Se dibujan en dos grupos: los "positivos" y los "negativos". Deben ser columnas de la imagen, deben ser tomadas en cuenta para el cálculo de la superficie. Las positivas definen la cobertura. Los negativos definen el suelo.
- 5 Componentes del círculo**  
 Estas tres botones permiten definir el círculo delimitador.
- 6 Opciones de escaneo**  
 Configuran la precisión, el modo y la definición del escaneo. Se utilizan para ajustar el modo en que el programa realiza el proceso.
- 7 Botón escanear**  
 Es quien inicia el proceso de escaneo de la imagen.

**CobCal**  
Guía rápida

### Escaneo de una imagen

Para escanear una imagen U3 debe realizar los siguientes pasos:

- 1 Cargar la imagen**  
 Deleite de la foto de imágenes haga clic en el botón "Agregar" para cargar una imagen al programa. Si desea cargar más de una, espere al proceso. Haga clic sobre el nombre para que aparezca en el visor.
- 2 Definir el círculo delimitador**  
 Usando los tres botones debajo del visor, defina el círculo delimitador correspondiente a de la foto. Este círculo le brinda al programa información acerca del área que se va a procesar.
- 3 Indique los colores positivos y negativos**  
 Para que el programa pueda realizar el cálculo, usando los botones "positivo" debe indicar que colores de la imagen corresponden al cultivo (por ejemplo: rojo o más verde de las hojas) y que colores corresponden al suelo. Aunque esto último es opcional, le brindará al programa mayor información, lo que posibilitará obtener mejores resultados. Recuerde marcar la caja de chequeo que aparece sobre estos botones para indicar al programa si desea que procesar o no dicho color el color correspondiente.
- 4 Establezca las opciones de escaneo**  
 Configure como quiere que el programa realice el escaneo.
  - **Alambrado:** afecta la cantidad de puntos de la imagen que se muestren. Cuanto mayor sea la precisión, mejores resultados se obtendrán, aunque el proceso será más lento.
  - **Modo RGB y HSV:** son dos formas diferentes de medir los colores. Si no está satisfecho con el resultado obtenido con uno de ellos, puede probar seleccionando el otro modo. Se ha incluido esta opción debido a las variadas configuraciones de colores de las imágenes.
  - **Definición:** (solo modo RGB). Determina cuán diferente es un color de otro muy parecido (por ejemplo: dos tonos de verde). Cuanto menor es la definición, menor es la diferencia que el programa encuentra entre dos colores similares.
- 5 Presione el botón "Ejecutar"**  
 Presionando este botón se inicia el proceso. Este demora algunos segundos, y cuando termina aparece una ventana que muestra los resultados y le permite guardar los mismos como una página web (archivo HTML).
- 6 Procesar de nuevo la imagen**  
 Si no está satisfecho con los resultados obtenidos, puede modificar la selección de colores (o agregar algunos más) o las opciones de escaneo y volver a procesarla.



**CobCal**  
Guía rápida

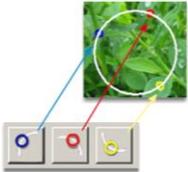
### Círculo delimitador

El círculo delimitador es un elemento del programa que usa:

- Como delimitador de la zona que se desea procesar.
- Como referencia para poder establecer el área de cobertura en cm<sup>2</sup>. Para ello debe establecerse el diámetro del mismo en la ventana opciones.

CobCal v1.0 necesita de la definición del círculo delimitador para funcionar.

**¿Cómo crear el círculo delimitador?**  
 Antes de comenzar, debe asegurarse que la fotografía a procesar deba ser tomada en el campo usando un año, generalmente hecho de alambres, que se coloca sobre el cultivo a estudiar. La fotografía debe ser tomada desde arriba de manera que la circunferencia del año sea lo más exacta posible.  
 Debajo del visor de imágenes existen tres botones que definen tres puntos que divide para el círculo en la foto. Haciendo clic en uno de ellos se activa la herramienta de definición del punto. Luego, en el visor de imágenes, debe hacer clic en un punto donde observar el año.  
 Para definir el círculo debe establecer los tres puntos.





**CobCal**  
Guía rápida

### Diámetro del círculo delimitador

La finalidad de usar el círculo delimitador es informar al programa acerca de la superficie del área que se va a procesar. Es decir que al momento de tomar la foto en el campo se define un año cuyo diámetro es 36 cm, entonces la superficie total del área definida por el mismo es de aproximadamente 2.463/01 cm<sup>2</sup>. Este dato le provee al programa mucha información para conocer el área de cobertura del cultivo.

**Establezca el diámetro del círculo**  
 En la ventana principal presione el botón "Opciones". A continuación aparecerá la ventana donde se define el diámetro del año en centímetros. Una vez ingresado, presione el botón "Aceptar" para guardar.

**Opciones**

**Diámetro del círculo demarcador**

La medida del diámetro del círculo se usa para calcular el área que corresponde al color seleccionado.

Diámetro  cm.



117

CobCal
Guía rápida

### Colores

Use los colores para indicar al programa que puntos de la imagen corresponde al cultivo y que puntos corresponden al suelo (o zona sin cultivar).

Los colores del cultivo se llaman "positivos" y los del suelo se llaman "negativos".

Para procesar la imagen debe indicar al menos un color positivo. Cuanto más colores positivos defina, más preciso será el resultado, aunque el proceso demorará más.

Aunque no es necesario definir los colores negativos, es muy recomendable y a que permitirá diferenciar con mayor precisión los colores. Esto es especialmente necesario cuando se trata de una imagen en la cual la diferencia entre los colores del cultivo y el suelo se pequeña.

**¿Cómo crear un color?**

Haga clic en uno de los botones "iguales" y haga clic en elvisor, haga clic en un punto que muestre el color que quiere definir. Una vez hecho esto, el color seleccionado aparecerá debajo del botón seleccionado. Observe que sobre el botón hay una caja de cheques. En el caso de estar activada el color correspondiente será usado en el proceso. Si está desactivada, el programa ignora esa selección.



### Opciones de escaneo

El programa permite establecer diferentes opciones para el escaneo de la imagen. Si no está satisfecho con el resultado de un escaneo, puede modificar estas opciones. Las opciones disponibles son:

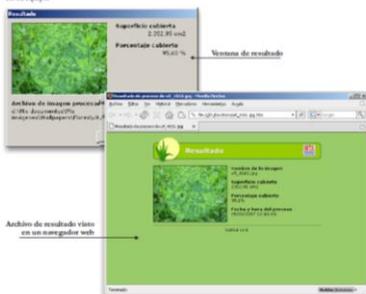
| Precisión      | Modo         | Definición (modo RGB) |
|----------------|--------------|-----------------------|
| Precisión Alta | Modo 2 (RGB) | Definición Alta       |

- Precisión:** Define cuantos puntos de la imagen se observan en el proceso. La precisión alta escanea todos los puntos. Tenga en cuenta que cuanto mayor sea la precisión más tiempo será el resultado y más lento se hará el proceso.
- Modo:** El procesamiento de la imagen puede realizarse utilizando dos modos de colores: HSV (modo 1) y RGB (modo 2). Utilizar uno u otro depende mucho de la fotografía con la cual se está trabajando. Por ejemplo, es recomendable utilizar el modo RGB en fotografías donde la diferencia entre los colores del cultivo y el suelo sea pequeña (por ejemplo, debe probar Ld, mismo que modo color si el mejor se resultó).
- Definición:** Esta opción solo funciona cuando el modo seleccionado es RGB. Indica al programa el umbral de diferencia a tener en cuenta para seleccionar a dos colores similares como si fuera idénticos. Por ejemplo, si damos al color verde el número 45 y a un tono de verde como 46, una definición baja hará el programa interpretar a ambos como el mismo color. Sin embargo, una definición alta los hará ver como colores diferentes.

### Guardar resultados del proceso

Una vez finalizado el proceso de la imagen el programa muestra la vista con los resultados. Esta ventana también permite guardar los resultados en un archivo HTML. Presione el botón "Guardar" e indique donde desea guardar el archivo.

Puede observar más adelante el archivo de resultados utilizando cualquier navegador web que tenga instalado en su equipo.



Archivo de resultado visto en un navegador web

CobCal
Guía rápida