

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL



Profesor Patrocinante: Dr Pedro Cisterna Osorio

LA CAPACIDAD DE CAMPO COMO INDICADOR EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS Y EL CONTROL DE LIXIVIADOS

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DANNY TOMAS BRICEÑO QUIÑONES

Concepción, Abril 2017.

Índice General

1.- INTRODUCCION.....	3
1.1. Objetivo General:	4
1.2. Objetivos específicos	4
2.- MARCO TEORICO	5
2.1.- Residuos	5
2.2.- Biodegradación.....	7
2.3.- Lugares de disposición final para residuos.	7
2.2.1.- Relleno sanitario.....	7
2.2.2.- Vertedero.....	8
2.2.3.- Basural o vertedero municipal o urbano	8
2.4.1.- Capacidad de campo total	8
2.4.2.- Capacidad de campo disponible.....	9
2.5.- Lixiviados.....	10
3.- METODOLOGIA	11
3.1.- Investigación previa	11
3.2.- Experimentación.....	11
3.2.1.- Experimentos de prueba	11
3.2.2.- Experimento 1: Capacidades de campo específicas	11
3.2.3.- Experimento 2: Capacidades de campo en función de la composición	12
3.3.- Resultados.	15
3.3.1.- Datos obtenidos experimentalmente	15
3.3.2.- Calculo de variables y gráficos	15
3.3.3.- Análisis de resultados.....	16

3.4.- Conclusiones	16
4.- RESULTADOS.....	17
4.1.- Experimento 1: Capacidades de campo específicas	17
4.1.1 Datos obtenidos experimentalmente.....	17
4.1.2 Calculo de variables	18
4.1.3.- Análisis de resultados.....	18
4.2.- Experimento 2: Capacidades de campo en función de la composición	19
4.2.1.- Datos obtenidos experimentalmente.	19
4.2.1.1- Pesos secos	19
4.2.1.2.- Pesaje diario	19
4.2.2.- Calculo de variables	19
4.2.2.1 Calculo de variables experiencias 1,7 y 8.....	19
4.2.2.1.1 Capacidades de campo totales	20
4.2.2.1.2 Humedades en condición natural.....	21
4.2.2.1.3 Humedades de saturación.	21
4.2.2.2 Capacidades de campo disponibles	22
4.2.3.- Análisis de resultados.....	23
4.2.3.1.- Análisis resultados experiencias 1,7 y 8	23
4.2.3.2.- Graficas CC disponible v/s Porcentaje de residuos orgánicos y CC disponible v/s Tiempo.	24
4.2.3.3.- Curvas estimadas.....	32
5.- CONCLUSIONES.....	34
6.- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.	36
ANEXOS	38
ANEXO A: TABLAS DE DATOS	39

Anexo A.1: Pesajes diarios.....	39
Anexo A.2: Pesos secos.....	40
Anexo A.3: Capacidad de campo disponible [Kg].....	41
Anexo A.4: Capacidad de campo disponible [%]	42
ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE EXPERIMENTOS	43
Fotografía B.1: Pesaje de muestras secas.	43
Fotografía B.2: Horno para el secado de muestras a 60°C.....	43
Fotografía B.3: Muestras en horno.	44
Fotografía B.4: Probetas listas para ser sumergidas.	45
Fotografía B.5: Probetas sumergidas con carga compactante.	45
Fotografía B.6: Vista cercana a probeta sumergida.....	46

Índice Tabla

Tabla 1: Composición en probetas.	14
Tabla 2: Pesos de probetas.....	14
Tabla 3: Muestras en distintas condiciones.	17
Tabla 4: Capacidades de campo específicas.....	18
Tabla 5: Capacidades de campo totales	20
Tabla 6: Humedades en condición natural [%]	21
Tabla 7: Humedades de saturación [%].....	22

Índice Figura

Figura 1: Gráficos experiencia 1.	24
Figura 2: Gráficos experiencia 2.	25
Figura 3: Gráficos experiencia 3.	26
Figura 4: Gráficos Experiencia 4.....	27
Figura 5: Gráficos experiencia 5.	28
Figura 6: Gráficos experiencia 6	29
Figura 7: Gráficos experiencia 7	30
Figura 8: Gráficos experiencia 8	31
Figura 9: Curva estimada Capacidad de campo disponible.....	32
Figura 10: Curva estimada Capacidad de campo total	33

LA CAPACIDAD DE CAMPO COMO INDICADOR EN LA GESTION DE RESIDUOS Y EL CONTROL DE LIXIVIADOS

Estudiante Danny Tomas Briceño Quiñones

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

dbriceno@alumnos.ubiobio.cl

Profesor patrocinante Dr. Pedro Cisterna Osorio

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Los desechos humanos son un tema importante en nuestra sociedad, nos hemos acostumbrado a simplemente dejarlos ir, pero no conocemos lo que provocan cuando son finalmente depositados. Los lugares de disposición final están expuestos a constantes peligros de contaminación medioambiental y uno de los derivados de más cuidado de la acumulación masiva de residuos es el lixiviado. Este estudio busca exponer una razón adicional del porque una correcta gestión en residuos sólidos domiciliarios puede traducirse en una disminución importante en la cantidad de lixiviados generados, dotando a los depósitos de mayores capacidades de campo al momento de verse expuestos a la precipitación. Para llevar a cabo la investigación se usó un método experimental donde se puso a prueba distintas mezclas de residuos, controlando su compactación, composición y el peso de las muestras, con el objetivo de conocer su capacidad de campo y relacionarlas con su composición. Finalmente se exponen análisis con respecto a los resultados obtenidos y se propone una curva que permite conocer una capacidad de campo estimada y conservadora en función de la cantidad de orgánicos que se tengan en el depósito.

Palabras claves: Residuos, lixiviados, capacidad de campo, lugares de disposición final

5992 palabras Texto + 6 Figuras/Tablas*250 + 9 Figuras/Tablas*500 = 11992 Palabras
Totales

FIELD CAPACITY AS AN INDICATOR IN WASTE MANAGEMENT AND LEACH CONTROL

Estudent Danny Tomas Briceño Quiñones

Department of Civil Engineering and Environmental, University of Bio Bio

dbriceno@alumnos.ubiobio.cl

Advisor Dr. Pedro Cisterna Osorio

Department of Civil Engineering and Environmental, University of Bio Bio

pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

Human waste is an important issue in our society, we have become accustomed to simply letting go, but we do not know what they cause when they are finally deposited. The final disposal sites are exposed to constant environmental pollution hazards and one of the most careful derivatives of the massive accumulation of waste is the leachate. This study seeks to explain an additional reason why a correct management in solid household waste can translate into a significant decrease in the amount of leachate generated by providing deposits with greater field capacities at the time of being exposed to precipitation. To carry out the research, an experimental method was used where different mixtures of residues were tested, controlling their compaction, composition and weight of the samples, in order to know their field capacity and to relate them to their composition. Finally, through analysis to the results obtained, a curve is proposed that allows to know an estimated field capacity as a function of the organic percentage stored in the reservoir.

Keywords: waste, leachate, field capacity, landfills, humidity

1. INTRODUCCION

Los residuos se han transformado en un tema importante para nuestro desarrollo, lo que antes eran pequeñas acumulaciones de desechos principalmente orgánicos y biodegradables, hoy son grandes cadenas de tratamiento y almacenamiento que son capaces de procesar residuos de distinta complejidad con el único fin de reducir el impacto que estos generarían si fueran simplemente dispuestos sin tratamiento o cuidado alguno.

Debido a la necesidad de cuidar el medioambiente de la contaminación producida por los desechos humanos nacen distintos organismos encargados de procesarlos y/o almacenarlos como lo son rellenos sanitarios, plantas de tratamiento, Etc. Dichos organismos acumulan grandes depósitos de residuos los cuales están expuestos a los distintos procesos hidrológicos y específicamente a la precipitación que tiene un efecto negativo el cual complica la tarea de evitar el impacto medioambiental. La lluvia que escurre a través de los residuos genera un fluido llamado lixiviado el cual es un compuesto de difícil tratamiento y con un alto poder contaminante por lo que dependiendo de su agresividad se barajan distintas opciones para su tratamiento o liberación a cauces cercanos.

Los residuos tienen una propiedad que es fundamental en evitar la generación de lixiviados y esta es la capacidad de campo, dependiendo de esta propiedad se generarán más o menos lixiviados. Esta investigación se enfocará en la variación de la capacidad de campo en función de la composición de los residuos manteniendo constante su compactación.

A través de la medición experimental de esta propiedad en distintos ensayos sumado al análisis posterior de los resultados obtenidos se calculará una curva que permitirá conocer una capacidad de campo estimada conociendo el porcentaje de residuos orgánicos almacenados en rellenos, esta estimación será una aproximación pesimista ya que muchos factores como el tiempo de biodegradación, la compactación entre otras variables estuvieron fuera del análisis total o parcialmente.

1.1. Objetivo General:

- Proponer índices para la calidad de la gestión de los residuos en función de la capacidad de campo para el pronóstico de lixiviados y la evaluación de la gestión de residuos en depósitos finales.

1.2. Objetivos específicos

- Revisar la información disponible sobre composición de los residuos en depósitos chilenos para su evaluación.
- Revisar información existente sobre capacidad de campo en residuos y generación de lixiviados en depósitos.
- Conocer experimentalmente la variación de la capacidad de campo en función de la composición de los residuos
- Correlacionar la capacidad de campo con la composición de los residuos.
- Elaborar un indicador sustentado en la capacidad de campo de los residuos para la gestión en los vertederos

2.- MARCO TEORICO

En esta sección se definirán términos y/o conceptos esenciales para la comprensión del tema en cuestión.

2.1.- Residuos

Se considera residuo o desecho a todo material inservible, no deseado o del que se tiene intención de deshacer, La OCDE define residuo a “aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producida”. Debido a que se producen en la gran mayoría de las actividades humanas es que el manejo de residuos se ha transformado en una tarea de gran importancia, tarea que reduce el impacto negativo de los residuos sobre el medioambiente y la sociedad.

2.1.1 Composición

Residuos Orgánicos: Es todo desecho que alguna vez estuvo vivo o formó parte de un ser vivo, tal como hojas, cascaras de frutas, madera. Etc. También entran en esta calificación los residuos generados por la fabricación de alimentos, su biodegradación en promedio requiere mucho menos tiempo que en los residuos inorgánicos.

Residuos Inorgánicos: Es todo desecho que no es de origen biológico. En su mayoría son de índole industrial o algún otro proceso artificial, su tiempo de biodegradación suele ser extenso (miles de años).

Mezcla de Residuos: En el sentido más amplio del término, se refiere a todo desecho que resulta de la combinación de residuos orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla es especialmente peligrosa cuando resulta de la combinación de residuos dañinos (pilas usadas, residuos hospitalarios, etc.) con otros tipos de residuos, lo que puede generar compuestos tóxicos o materiales difíciles de manejar.

Residuos Peligrosos: Es todo desecho que constituye un peligro potencial, por lo que debe ser tratado bajo estrictas normas de seguridad, tales como: residuos radioactivos, sustancias corrosivas, material médico infeccioso, materiales explosivos o inflamables, etc.

Residuo Inerte: es aquel residuo que no afecta a otras materias con las que tenga contacto de manera que genere contaminación o peligro para la salud humana. Los lixiviados generados

a partir de estos residuos son insignificamente contaminantes y no generan un riesgo para la calidad de las aguas subterráneas o superficiales.

2.1.2 Origen

Residuos Domésticos: Son los residuos generados como consecuencia de las actividades domésticas que se llevan a cabo en distintos sectores de la población, tales como domicilios, servicios o industrias. Elementos como pilas, ropa, aparatos eléctricos o electrónicos, cadáveres de mascotas, vehículos abandonados, muebles y enseres entran a esta categoría como también los residuos procedentes de la limpieza de las vías públicas, playas y áreas recreativas o escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Residuos Comerciales: Son generados por la actividad propia del comercio, tanto en pequeña como en gran escala. En esta categoría caen los residuos procedentes de restaurantes, bares, oficinas, centros comerciales, mercados, Etc. O de servicios tales como vulcanizaciones, lavanderías, talleres técnicos, Etc.

Residuos Industriales: Son el resultado de los distintos procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento generados por la actividad industrial. En esta categoría no se incluyen las emisiones a la atmosfera, reguladas en la ley 34/2007 del 15 de noviembre.

Residuos Hospitalarios: Son residuos provenientes de hospitales que son generalmente catalogados como residuos peligrosos ya que son potencialmente contaminantes, pueden ser orgánicos o inorgánicos.

Basura Espacial: Son objetos o fragmentos de objetos, artificiales o de origen humano que no poseen ninguna utilidad y se encuentran orbitando a la tierra.

Residuo de construcción y demolición: Son sustancias o materiales que normalmente son excedentes en los procesos de construcción o son el producto de alguna demolición.

2.2.- Biodegradación

Es el proceso que se lleva a cabo en ciertas sustancias o materiales que les permite ser descompuestos en los distintos elementos químicos que los conforman, este proceso de descomposición es llevado a cabo por la acción de agentes biológicos (hongos, animales, insectos, microorganismos, etc) que utilizan estos elementos para producir energía y crear otras materias para su beneficio. Las sustancias o materiales con esta capacidad son denominados “biodegradables”. Catalogar a algo como biodegradable no es tan simple, ya que dependerá del tiempo y las condiciones necesarias para que la descomposición se lleve a cabo, se acepta catalogar a una sustancia o material como biodegradable cuando se biodegrada en condiciones naturales y en un tiempo relativamente corto (días semanas y excepcionalmente meses). Los ecosistemas naturales no generan materiales indeseables pues todos los compuestos orgánicos producidos por estos son biodegradables, en cambio el ser humano y su tecnología han creado materiales a partir de procesos artificiales que tienen como consecuencia desechos sintéticos que se biodegradan en décadas, siglos e incluso milenios, a estos materiales se les denomina “no biodegradables”, algunos son el vidrio, plástico, metal, polietileno, entre otros.

2.3.- Lugares de disposición final para residuos.

son lugares donde la basura generada por la población es acumulada. Existen 3 tipos:

2.2.1.- Relleno sanitario

Lugar destinado a la disposición final de residuos que cumple con la legislación vigente (Autorización Sanitaria, de acuerdo al D.S. N° 189, más Resolución de Calificación Ambiental) (Ministerio del medio ambiente, 2010, cap3: Residuos). dependiendo de su capacidad pueden prestar servicio a varias comunas o ciudades y su ubicación es definida en base a estudios medioambientales, sociales y económicos. Dentro de estas plantas el manejo de los residuos variara según su complejidad por lo cual existen cuidados específicos para cada tipo e incluso tratamientos que permiten el almacenamiento o incorporación de lixiviados a flujos de aguas superficiales, siempre y cuando esto no genere un impacto medioambiental grave.

2.2.2.- Vertedero

Lugar destinado a la disposición final de residuos que no cumplen con la legislación vigente, pero cuentan con Autorización Sanitaria, de acuerdo a la Resolución N° 2.444. (Ministerio del medio ambiente, 2010, cap3: Residuos).

2.2.3.- Basural o vertedero municipal o urbano

Lugar destinado a la disposición final de residuos que no cumplen con la legislación vigente y tampoco cuentan con Autorización Sanitaria, de acuerdo a la Resolución N° 2.444. (Ministerio del medio ambiente, 2010, cap3: Residuos). Comúnmente un grupo de personas definen su ubicación sin ningún tipo de consideración y son un grave foco de contaminación y enfermedades

2.4.- Capacidad de campo

Es la máxima cantidad de masa de agua que es capaz de absorber un material, se mide en unidad de masa (kilogramos, gramos, toneladas, etc.) y varía según las propiedades físico-químicas de cada uno por lo que también se relaciona directamente con la porosidad. La mayoría de la materia se encuentra con una parte de esta capacidad de campo utilizada por la humedad en estado natural. Cabe destacar que este documento se refiere a la capacidad de campo como “capacidad de campo total” para diferenciarlo del concepto “capacidad de campo disponible” utilizado durante la investigación.

2.4.1.- Capacidad de campo total

Para conocer la capacidad de campo o capacidad de campo total necesitamos obtener la masa en condición saturada y seca de la materia a analizar para luego realizar una sustracción entre estas, tal como lo muestra la siguiente ecuación.

$$CC_{Total} = M_{sat} - M_{seca} [Unidad\ de\ masa] \quad Ec. 1.1$$

Donde:

CC_{Total} = Capacidad de campo total del material en cuestión.

M_{sat} = Masa del material saturado [Unidad de masa]

M_{seca} = Masa del material seco [Unidad de masa]

Siguiendo el mismo concepto, es posible calcular la capacidad de campo total también:

$$CC_t = RRSS_{Sat} - RRSS_{Sec} \text{ [Unidad de masa]} \quad Ec.1.2$$

Donde:

CC_t = Capacidad de campo total.

$RRSS_{Sat}$ = Peso de los residuos en condición saturada.

$RRSS_{Sec}$ = Peso de los residuos en condición seca.

Finalmente, el resultado indica la masa de agua que fue retenida cuando el material se encontraba saturado, lo que es equivalente a la máxima cantidad de agua absorbida posible y a la vez a la capacidad de campo o capacidad de campo total de dicho material.

2.4.2.- Capacidad de campo disponible

La capacidad de campo disponible hace referencia a la capacidad de campo que queda libre y por lo tanto disponible luego de que la humedad en estado natural del material utilice cierta parte de la capacidad de campo total, tal como lo explica la siguiente ecuación.

$$CC_{disp} = CC_{total} - H_{nat} \text{ [Unidad de masa]} \quad Ec.2.1$$

Donde:

CC_{disp} = Capacidad de campo disponible [Unidad de masa]

CC_{total} = Capacidad de campo total [Unidad de masa]

H_{nat} = Masa de agua en el material en estado natural [Unidad de masa]

También es posible conocer la capacidad de campo disponible midiendo el peso de un material, luego saturarlo y volver a medirlo. La diferencia entre el peso inicial del material y su peso al saturarlo de agua será equivalente a la capacidad de campo disponible, tal como lo muestra la siguiente expresión.

$$CC_{disp} = RRSS_{Sat} - RRSS_{Nat} \text{ [Unidad de masa]} \quad Ec.2.2$$

Donde:

CC_{disp} : Capacidad de campo disponible

$RRSS_{Sat}$: Peso de los residuos en condición saturada

$RRSS_{Nat}$: Peso de los residuos condición natural

2.5.- Lixiviados

Se denomina lixiviado al líquido resultante luego de un proceso de percolación de un fluido mediante de un sólido y se generan cuando la capacidad de campo disponible en los depósitos es superada por el agua de lluvia precipitada. Cuando hablamos de lixiviados generados en lugares de disposición final de residuos, hablamos de un fluido altamente contaminante, de color oscuro y olor desagradable que varía su composición en función del tipo de residuos por los que haya atravesado. Son de tratamiento muy complejo pues, los lixiviados en depósitos resultan de la mezcla entre residuos de distinta naturaleza, tanto orgánicos e inorgánicos e incluso pueden llegar contener metales pesados, por lo que en los rellenos sanitarios existen estrictas normas de manejo, tratamiento, almacenamiento y dependiendo de su agresividad pueden ser vertidos al medio natural, siempre y cuando esto no genere un impacto ambiental grave.

3.- METODOLOGIA

3.1.- Investigación previa

Antes de comenzar las pruebas para definir el experimento y las variables a medir fue necesario revisar información de los residuos en rellenos sanitarios chilenos, sobre la capacidad de campo y generación de lixiviados donde en su mayoría se utilizó material en línea, tales como reportes del ministerio del medioambiente, CONAMA, documentos relacionados, etc.

3.2.- Experimentación

3.2.1.- Experimentos de prueba

Para estimar la capacidad de campo en residuos y conocer su impacto en el proceso de lixiviación en rellenos sanitarios, fue necesario el diseño de las experiencias que permitieran dilucidar su comportamiento en distintos grupos de residuos y su reacción frente a la variación de la composición de estos. Durante esta etapa se realizaron experimentos que permitieron definir los procesos a realizar, además de los plazos de secado, saturación, filtración y detalles necesarios para la obtención de los resultados.

3.2.2.- Experimento 1: Capacidades de campo específicas

En este primer experimento se caracterizaron algunos residuos, conociendo los pesos de muestras de estos en condición, saturada, seca y natural. Posteriormente dichos datos serán utilizados para el cálculo de la capacidad de campo total y capacidad de campo disponible de cada uno de ellos.

Materiales:

- Muestra de residuos.
- Fuente
- Pesa
- Horno a 60°C
- Agua

Procedimiento:

1. Pesar y registrar el peso de la muestra en condición natural.
2. Rellenar la fuente con agua y sumergir muestra por 24 horas.
3. Pesar y registrar el peso de la muestra en condición saturada.
4. Dejar la muestra en el horno a 60°C durante 7 días.
5. Pesar y registrar el peso de la muestra en condición seca.

3.2.3.- *Experimento 2: Capacidades de campo en función de la composición*

El experimento se basa en la simulación del proceso que se lleva a cabo en los residuos al momento de ser depositados, tomando en consideración las variables que los afectan, tales como la exposición a fluidos (principalmente lluvia y lixiviados), tiempo de biodegradación (a corto plazo) y compactación (plana), dejando fuera 2 variables entre otras, la biodegradación a largo plazo y la variación de la compactación, debido a la dificultad de su cuantificación.

El experimento consistió en sumergir en agua probetas permeables con residuos con el fin de saturarlos. El pesaje previo y diario de cada probeta, hizo posible el cálculo de la capacidad de campo disponible.

Se realizaron un total de 8 experiencias de las cuales en 3 (1, 7 y 8) se obtuvo el peso en condición seca mediante el uso de un horno, lo que permitió el cálculo de humedades en condición natural y saturada además de la capacidad de campo total como datos adicionales. Solo se realizó en estas experiencias debido a la disponibilidad del horno Ecocell facilitado por el laboratorio de suelos de la Universidad del Bío-Bío

Cada experiencia consto de 5 probetas, las cuales variaban en su proporción orgánico-inorgánico. Todas las probetas fueron sometidas a la misma carga permitiendo la comparación entre ellas.

Para estimar el efecto de la biodegradación sobre la capacidad de campo a corto plazo cada experiencia tuvo una duración de 5 días, donde en el día 1 se realizó el pesaje previo y en los siguientes el pesaje diario.

Antes de cada pesaje diario se dejó filtrar el agua que no había sido retenida por los residuos por 10 minutos, plazo definido durante los experimentos de prueba en donde advirtió que aproximadamente en 10 minutos el goteo cesaba.

Es importante destacar que se consideraron solo residuos domiciliarios orgánicos e inorgánicos para el experimento, ya que a pesar de que no son la mayor porción de los residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios chilenos, tienen el potencial de ser gestionados por la ciudadanía promoviendo actividades como el reciclaje, la separación en origen, entre otras.

Los residuos inorgánicos utilizados fueron vidrio para las experiencias 1 a 5 y ladrillos para 6, 7 y 8, debido a que son residuos comunes en domicilios y a tener diferencias físicas como la porosidad.

Materiales:

- Residuos domiciliarios de distinta naturaleza (orgánicos e inorgánicos)
 - Recipientes permeables (Probetas)
 - Pesa (precisión 1g)
 - Carga compactante
 - Fuente
 - Agua
 - Horno a 60°C
- Residuos domiciliarios orgánicos e inorgánicos

Previamente se recolectaron residuos de distinta composición, siendo necesarios 1,5 kg de residuos orgánicos y 1,5 kg de residuos inorgánicos para cada experiencia.

- Recipientes permeables (Probetas)

Se determinaron 5 recipientes permeables que funcionan como probetas que contendrán 0,5 kg de residuos cada una. La distribución de los residuos cambiara en cada probeta, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 1: Composición en probetas.

Probeta	Orgánicos (%)	Inorgánicos (%)	Orgánicos (Kg)	Inorgánicos (Kg)	Total (Kg)
A	100	0	0,5	0	0,5
B	80	20	0,4	0,1	0,5
C	60	40	0,3	0,2	0,5
D	40	60	0,2	0,3	0,5
E	20	80	0,1	0,4	0,5

El peso de cada recipiente se muestra a continuación:

Tabla 2: Pesos de probetas.

Probeta	A	B	C	D	E
Peso (kg)	0,038	0,032	0,038	0,04	0,042

Se utilizaron recipientes permeables que permitieran la exposición continua de los residuos al agua además de facilitar el control, ya que los agujeros permiten que el excedente de agua no capturada escape al momento del pesaje diario.

- Pesaje

Para el control de pesajes en los distintos procesos del experimento se utilizó una pesa de precisión 1 g.

- Carga para compactar

Debido a que en un vertedero los residuos están siendo constantemente presionados, fue necesario incluir en la experiencia una carga que simulara esta presión, además de normalizar la carga en todas las probetas para permitir una comparación entre ellas y mantener controlada esta variable. Para comprimir los residuos se utilizaron botellas rellenas con agua que pesan 2,138 kg cada una.

- Fuente

Se utilizó para sumergir las probetas en agua durante la experiencia.

- Horno a 60°C

Se utilizó el horno solo en las experiencias 1,7 y 8 debido a la disponibilidad del laboratorio de suelos de la Universidad del Bio-Bio

- Procedimiento:

El proceso expuesto a continuación fue utilizado para cada una de las 8 experiencias realizadas.

1. Rellenar los recipientes permeables con residuos respetando los pesos indicados en la tabla 1.1
2. Rellenar la fuente con agua
3. Colocar las probetas en el agua cuidando que ningún residuo escape de las probetas
4. Colocar las cargas compactantes sobre los residuos de cada probeta, evitando que floten y manteniéndolos dentro.
5. Realizar un pesaje diario de las probetas, retirando las cargas compactantes y dejando escapar el agua no captada por los residuos por aproximadamente 10 minutos.
6. Repetir paso 3 y 4 después del control diario y registrar.
7. Llevar las muestras al horno para la estimación del peso seco, si corresponde.

3.3.- Resultados.

3.3.1.- Datos obtenidos experimentalmente

En esta etapa se mostrarán los datos obtenidos mediante el registro en las distintas experiencias. Las tablas con esta información serán adjuntadas en el anexo correspondiente.

3.3.2.- Calculo de variables y gráficos

En esta etapa se obtienen las variables mencionadas anteriormente, utilizando las expresiones expuestas en el marco teórico. La variable a calcular es la capacidad de campo disponible y si corresponde la Capacidad de campo total, humedades de saturación y humedad en condición saturada. Además, se obtendrán gráficos que permitan una mejor visualización del comportamiento de la capacidad de campo en función del porcentaje de residuos orgánicos en una muestra de residuos total, además del efecto de la biodegradación a corto plazo.

3.3.3- Análisis de resultados

Se debe analizar el comportamiento de la capacidad de campo disponible en función del porcentaje de residuos orgánicos de cada probeta basándose en los gráficos y resultados obtenidos previamente.

3.4.- Conclusiones

Finalmente se elaboran conclusiones con respecto a los análisis y resultados obtenidos en las etapas anteriores.

4.- RESULTADOS

En el siguiente capítulo se exponen los resultados obtenidos en los distintos experimentos y experiencias previas, el cálculo respectivo para la obtención de las variables necesarias, gráficos correspondientes y los respectivos análisis de cada apartado.

4.1.- Experimento 1: Capacidades de campo específicas

4.1.1 Datos obtenidos experimentalmente

Se registraron los pesos en condición natural, seca y saturada de muestras de: Coronta de choclo, cartón, teja, pan. Tal como lo expone el método previamente explicado.

Tabla 3: Muestras en distintas condiciones.

[Kg]			
Coronta de choclo	Peso C.nat.	Peso C.seca	Peso C.Sat.
	0,16	0,027	0,222

[Kg]			
Cartón	Peso C.nat.	Peso C.seca	Peso C.Sat.
	0,065	0,06	0,19

[Kg]			
Teja	Peso C.nat.	Peso C.seca	Peso C.Sat.
	0,075	0,073	0,084

[Kg]			
Pan	Peso C.nat.	Peso C.seca	Peso C.Sat.
	0,096	0,054	0,27

4.1.2 Cálculo de variables

Utilizando los datos anteriores se obtuvieron las capacidades de campo disponibles y totales además de las humedades en condición natural y saturada, las capacidades de campo expresadas en porcentaje, están con respecto a la masa en estado natural de la muestra. Tal como lo expone el siguiente cuadro.

Tabla 4: Capacidades de campo específicas.

	[Kg]	[Kg]	[%]	[%]	[%]	[%]
	CC. Disp.	CC. Total	CC. Disp.	CC. Total	Hum. C. nat.	Hum. C. sat.
Coronta de choclo	0,062	0,195	38,75	121,87	83,1	87,8
	[Kg]	[Kg]	[%]	[%]	[%]	[%]
	CC. Disp.	CC. Total	CC. Disp.	CC. Total	Hum. C. nat.	Hum. C. sat.
Cartón	0,125	0,13	192,3	200	7,7	68,4
	[Kg]	[Kg]	[%]	[%]	[%]	[%]
	CC. Disp.	CC. Total	CC. Disp.	CC. Total	Hum. C. nat.	Hum. C. sat.
Teja	0,009	0,011	12	14,76	2,7	13,1
	[Kg]	[Kg]	[%]	[%]	[%]	[%]
	CC. Disp.	CC. Total	CC. Disp.	CC. Total	Hum. C. nat.	Hum. C. sat.
Pan	0,174	0,216	181,25	225	43,8	80,0

4.1.3.- Análisis de resultados.

Los residuos orgánicos como las frutas, a pesar de que están constituidos mayormente por agua, su capacidad de campo disponible no es de gran magnitud, aunque su capacidad de campo total si lo es, la muestra de choclo, por ejemplo, posee una capacidad de campo disponible de un 38% con respecto a su masa inicial, mientras que su capacidad de campo es un 121% con respecto a la misma.

Los materiales celulósicos como el cartón, ya que son sometidos a secado durante su proceso de fabricación, poseen una humedad en estado natural muy baja, por lo que su capacidad de campo disponible (192.3%) es muy cercana a la total (200%).

La teja es un residuo inorgánico que posee porosidad por lo que aporta con una capacidad de campo que es superior a las de la mayoría de los residuos inorgánicos, tales como el vidrio y

el plástico que son materiales impermeables. Aunque está muy por debajo si la comparamos con los residuos orgánicos

El pan tiene una similitud con el cartón, ya que para su fabricación también es sometido a un proceso de secado, por lo que su capacidad de campo disponible es también cercana a la total, pero no a la misma escala, ya que posee una humedad en estado natural considerablemente mayor que el cartón.

4.2.- Experimento 2: Capacidades de campo en función de la composición

4.2.1.- Datos obtenidos experimentalmente.

A continuación, se exponen los datos obtenidos mediante el pesaje diario de las probetas y la obtención de pesos secos en laboratorio de las experiencias 1,7 y 8. Las tablas con los datos obtenidos se mostrarán en el correspondiente anexo.

4.2.1.1- Pesos secos

En las tablas se muestran la información obtenida mediante el secado de los residuos en las experiencias 1,7 y 8. Información en anexo.

4.2.1.2.- Pesaje diario

En las tablas se muestra el registro de las 8 experiencias, en la esquina superior izquierda de cada una se especifica el número de la prueba a la que corresponde.

Es importante destacar que los pesos expuestos excluyen la medición de las probetas permeables de plástico utilizadas para el experimento, por lo que solo se muestra el peso de los residuos. Tablas en anexo

4.2.2.- Calculo de variables

El siguiente segmento mostrara la obtención de las variables indicadas en cada paso y el procedimiento correspondiente.

4.2.2.1 Calculo de variables experiencias 1,7 y 8

En esta sección se calcularon las variables de capacidad de campo total, humedad natural y humedad de saturación de los residuos procedentes de las experiencias 1, 7 y 8.

Es importante destacar que es solo de las experiencias mencionadas debido a que solo en estas experiencias se obtuvieron pesos secos, por razones anteriormente mencionadas.

4.2.2.1.1 Capacidades de campo totales

Las capacidades de campo totales se calcularon mediante una sustracción entre el peso de los residuos en condición saturada y su correspondiente peso seco, lo que equivale a la cantidad de agua total retenida por los residuos, debido a la biodegradación, esta capacidad de campo total fue disminuyendo al igual que la disponible.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 5: Capacidades de campo totales

N°1	CC Total Según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%
1	0,468	0,414	0,429	0,262	0,136
2	0,458	0,411	0,424	0,262	0,136
3	0,453	0,407	0,424	0,261	0,131
4	0,438	0,403	0,419	0,247	0,121

N°7	CC Total Según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%
1	0,511	0,412	0,39	0,275	0,236
2	0,508	0,406	0,379	0,276	0,235
3	0,492	0,392	0,376	0,262	0,231
4	0,486	0,387	0,372	0,258	0,229

N°8	CC Total Según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%
1	0,653	0,559	0,387	0,306	0,258
2	0,633	0,549	0,377	0,308	0,26
3	0,619	0,535	0,374	0,301	0,254
4	0,607	0,516	0,372	0,299	0,256

4.2.2.1.2 Humedades en condición natural.

Para el cálculo del porcentaje de humedades en estado natural de los residuos se utilizó la clásica ecuación de humedad:

$$\% \text{ Humedad RRSS} = \frac{RRSS_n - RRSS_s}{RRSS_n} \times 100$$

Donde:

$RRSS_n$: Peso de residuos en estado natural

$RRSS_s$: Peso de residuos seco

Cabe destacar que la variable $RRSS_n$ en todas las experiencias es 0,5 kg, ya que se utilizó esta medida de manera intencional para la comparación entre probetas.

A continuación, se enseñan los resultados.

Tabla 6: Humedades en condición natural [%]

	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
N°1	73,2	61,2	52,4	28,4	16,6
N°7	76,2	59,4	48,4	37,6	33
N°8	79,8	66,4	52	39,8	31,6

4.2.2.1.3 Humedades de saturación.

Al igual que con las humedades en estado natural, el cálculo responde a los mismos componentes a excepción de que para calcular la humedad de saturación, el termino que antes el peso natural de los residuos se reemplaza por el peso de los residuos saturados, quedando de esta forma.

$$\% \text{ Humedad Sat. RRSS} = \frac{RRSS_{Sat} - RRSS_s}{RRSS_{Sat}} \times 100$$

Donde:

$RRSS_{Sat}$: Peso de residuos saturados

$RRSS_s$: Peso de residuos seco

Es importante mencionar que para el cálculo de la humedad de saturación, se consideró el peso del primer día de cada experiencia, ya que la intención no es considerar el efecto de la biodegradación en el cálculo de esta variable ya que disminuiría su valor con el correr de los días.

Resultados:

Tabla 7: Humedades de saturación [%]

	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
N°1	77,7	68,1	64,3	42,3	24,6
N°7	81,1	67,0	60,2	46,8	41,3
N°8	86,6	76,9	61,7	50,4	43,0

4.2.2.2 Capacidades de campo disponibles

Para la obtención de esta variable se utilizaron los datos del pesaje diario restándole el peso de residuos depositados en cada muestra al inicio (0,5 Kg). Tal como lo muestra la ecuación de capacidad de campo disponible Ec.2.2.

Se muestran los datos de capacidades de campo disponibles de cada experiencia en función del porcentaje de residuos orgánicos, recordar que el 100%, 80%, 60%, 40%, y 20% corresponden a las probetas A, B, C, D, E. Además, se obtuvo las capacidades de campo disponibles como porcentaje con respecto al peso inicial de las probetas, el cual era 0,5 Kg, Ambas tablas se encuentran adjuntadas en el anexo ya que los resultados de estas fueron utilizados para realizar los gráficos mostrados en el siguiente apartado.

4.2.3.- Análisis de resultados

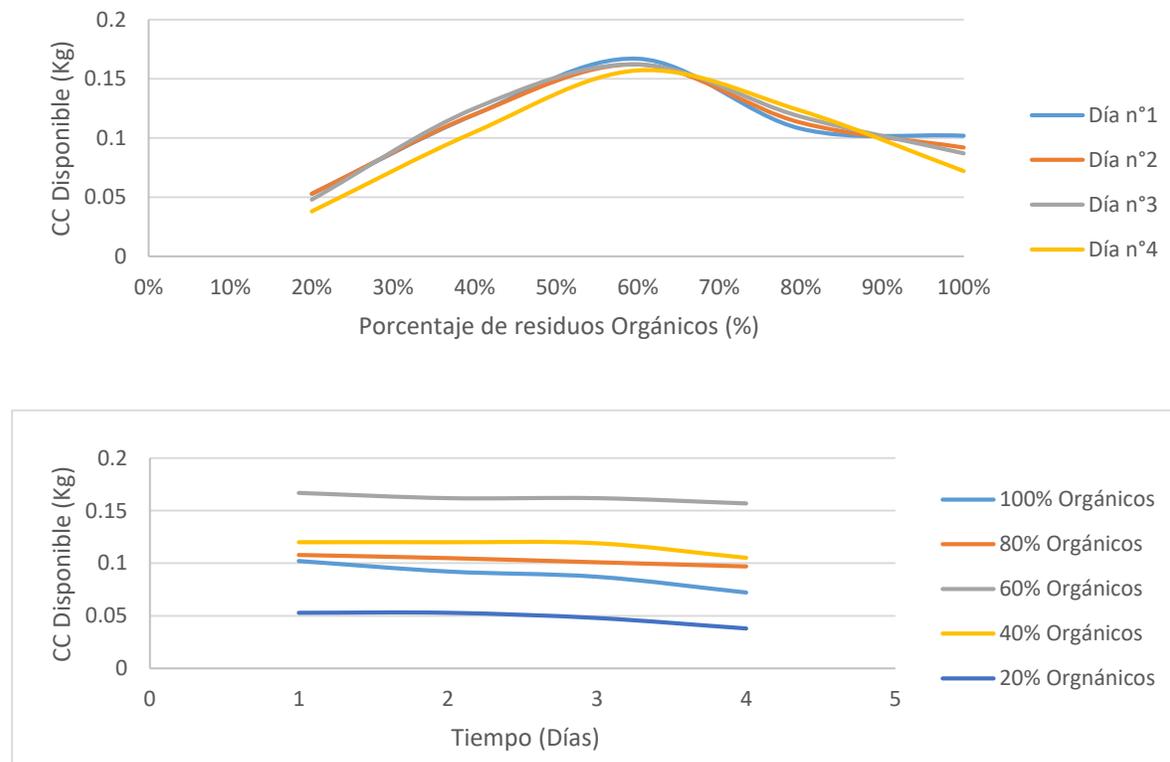
En la siguiente sección se exhibirán los gráficos derivados de las tablas de datos recientes, los que servirán de apoyo para su análisis.

4.2.3.1.- Análisis resultados experiencias 1,7 y 8

En las tablas podemos ver como a medida que aumenta el porcentaje de orgánicos en las probetas, disminuye el peso en condición seca. Esto responde a que los residuos orgánicos deben su peso a un gran porcentaje de agua en condición natural, por la misma razón las capacidades de campo totales y las humedades en condición natural y saturada son mayores a mas porcentaje de residuos orgánicos posea, además podemos ver como el peso de las probetas E (20%) es mayor en la experiencia 1, debido a que se utilizó vidrio en ella a diferencia de 7 y 8 donde se empleó tejas como residuo inorgánico. Esta diferencia se explica con la porosidad de la teja que le otorga cierta capacidad de campo mientras que el vidrio es impermeable.

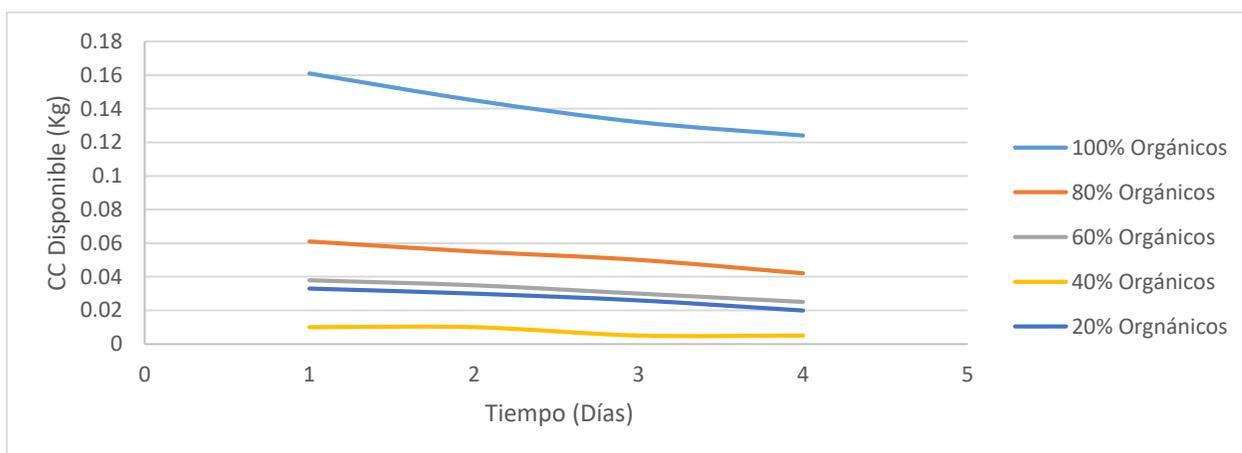
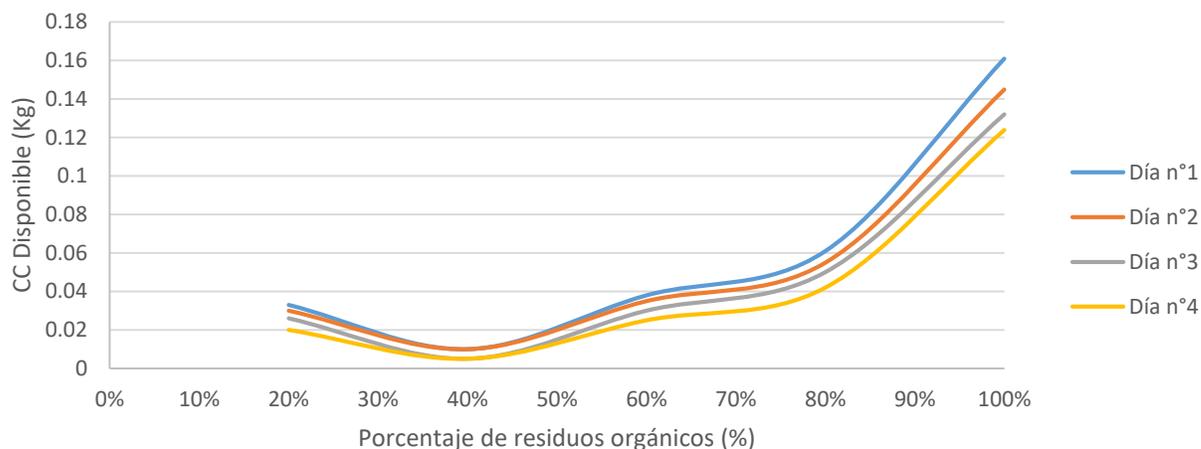
4.2.3.2.- Graficas CC disponible v/s Porcentaje de residuos orgánicos y CC disponible v/s Tiempo.

Figura 1: Gráficos experiencia 1.



A primera vista podemos notar que la probeta con un C de orgánicos posee la CC disponible mayor, esto es debido a que no todos los residuos orgánicos poseen la misma CC disponible y en esta experiencia en C (60% orgánicos) se utilizó pan, lo que provocó un alza considerable de este parámetro y en A (100% orgánicos) se usó principalmente frutas, que al poseer CC disponibles menores que en el resto, provocaron una depresión en la cantidad de agua retenida por esta probeta. Es importante destacar que en esta primera experiencia notamos una diferencia en la celeridad de la biodegradación siendo mayor mientras más orgánicos posea la probeta, esto debido a que los residuos orgánicos como la fruta necesitan menos tiempo para ser biodegradados. Para C la biodegradación a los 4 días es casi imperceptible, no así para A.

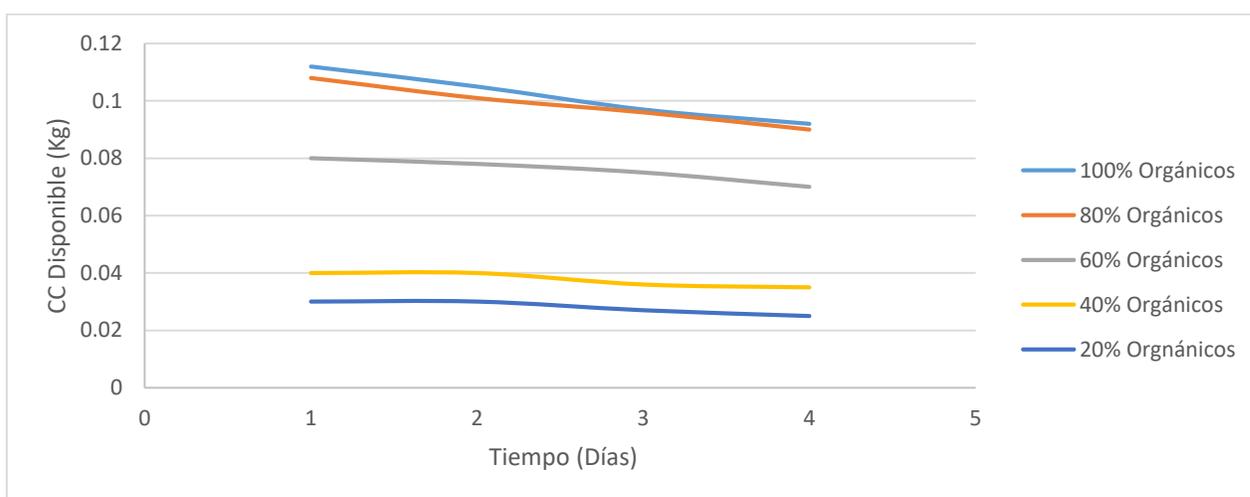
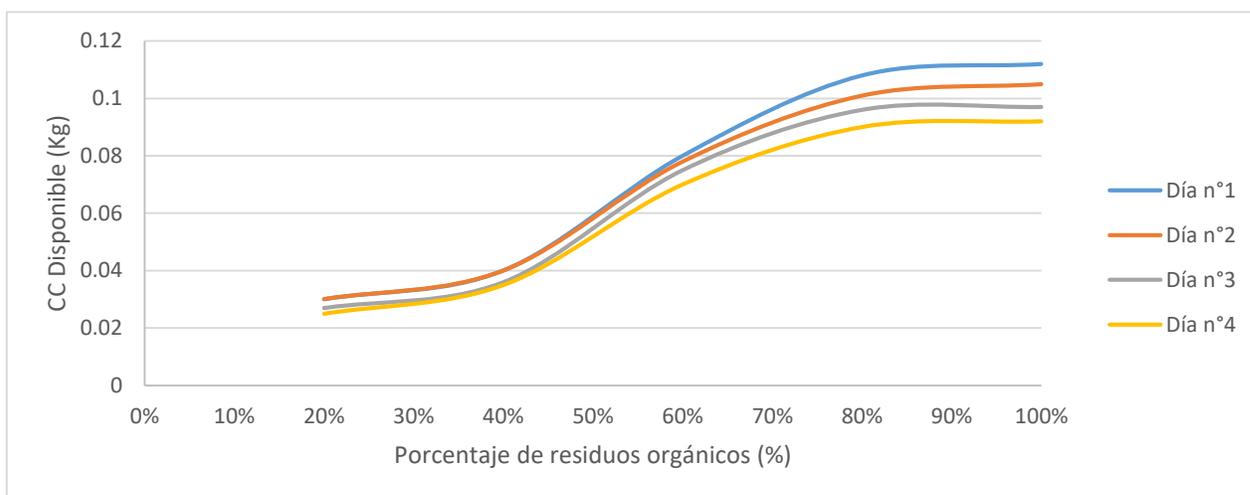
Figura 2: Gráficos experiencia 2.



Los resultados de esta experiencia actúan de acuerdo a la hipótesis, mientras más residuos orgánicos más CC disponible, aunque podemos ver una excepción en D (40% orgánicos), lo que responde a la utilización residuos de sandía lo que provocó un descenso en su capacidad de campo con respecto a sus pares.

En este caso se puede visualizar con mayor claridad la diferencia entre CC disponibles de A con el resto de las probetas, además de notar el efecto de la biodegradación mencionado anteriormente.

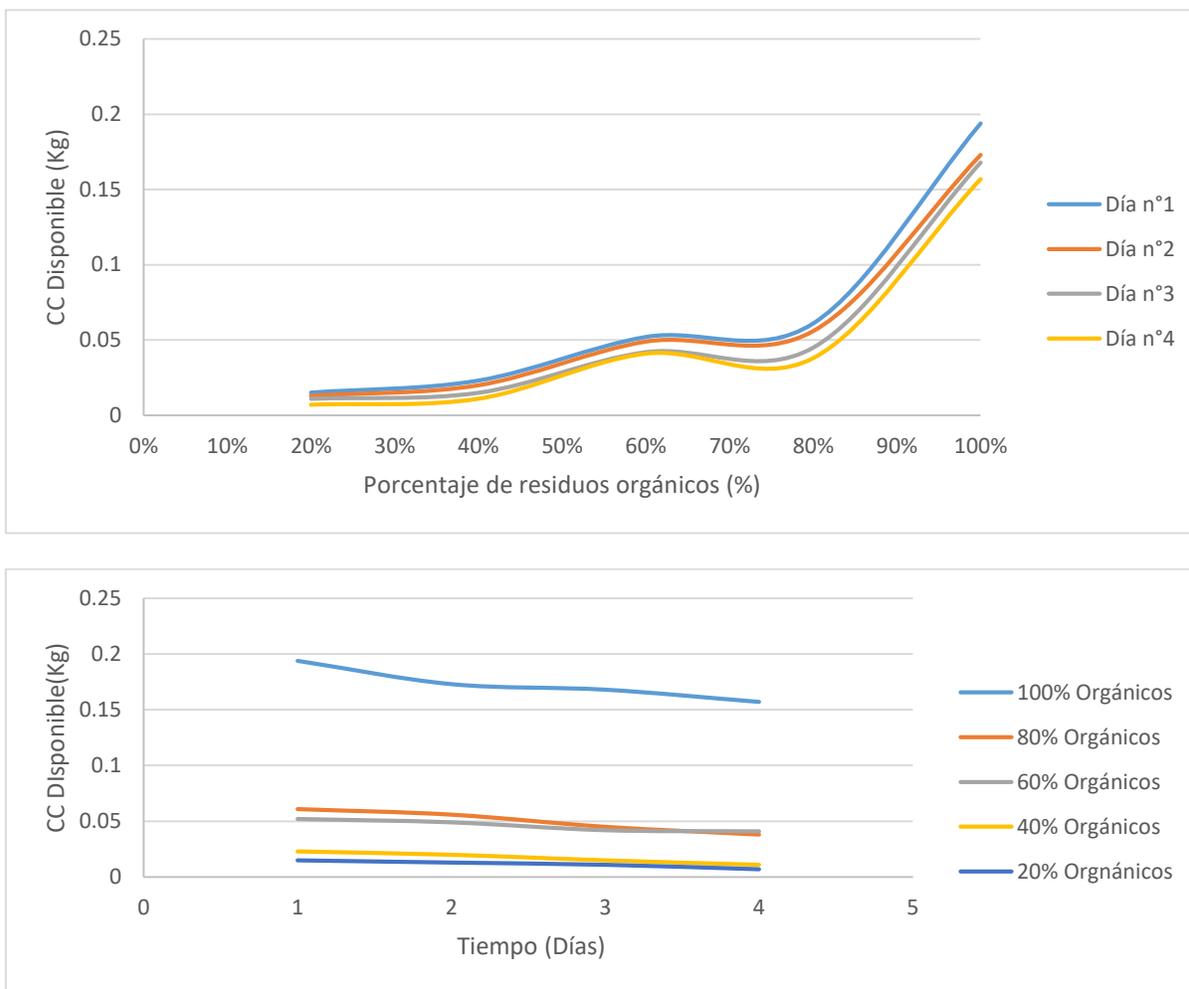
Figura 3: Gráficos experiencia 3.



Los resultados correspondientes a la experiencia n°3 actúan según los planteado inicialmente, a mayor cantidad de orgánicos nos encontramos con una mayor CC disponible, la cual va disminuyendo con el correr de los días, en esta experiencia en específico es importante destacar una casi imperceptible variación entre la probeta B y A.

La tendencia se mantiene, a mayor porcentaje de orgánicos menor tiempo necesario para la biodegradación de los residuos.

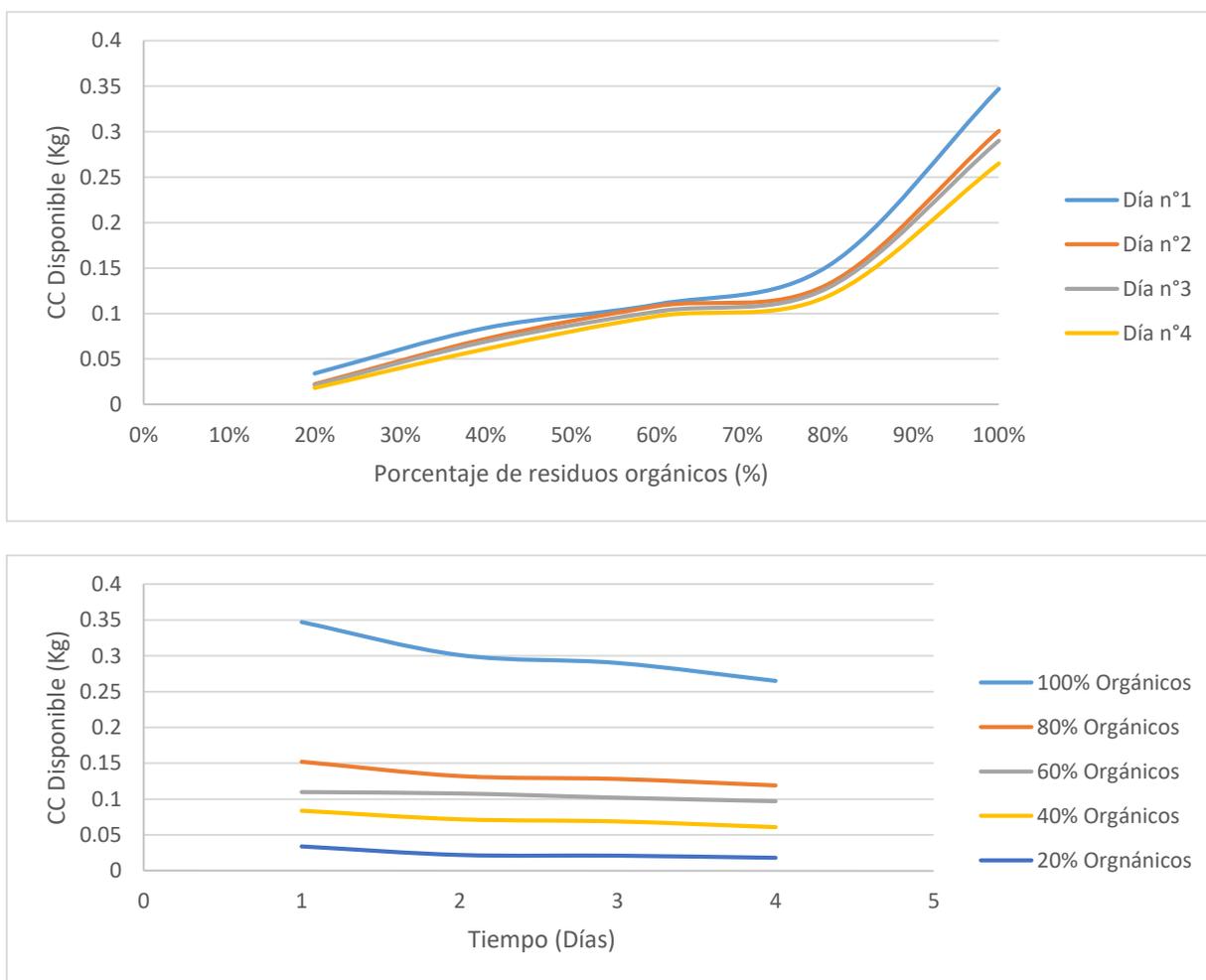
Figura 4: Gráficos Experiencia 4.



A primera vista notamos que en la experiencia n°4 hay un declive de CC disponible en la probeta B. En esta probeta se utilizaron uvas y manzanas entre otras frutas lo que avala este efecto en su capacidad de campo.

Además, se evidencia una biodegradación más veloz que la probeta C (60%) que termina por equiparar e incluso superar la CC disponible de B al 4° día.

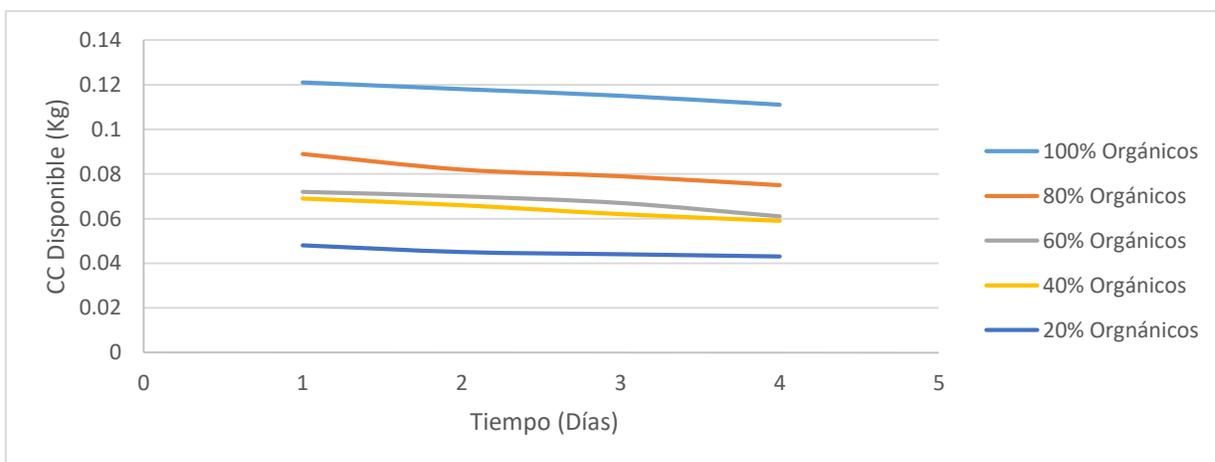
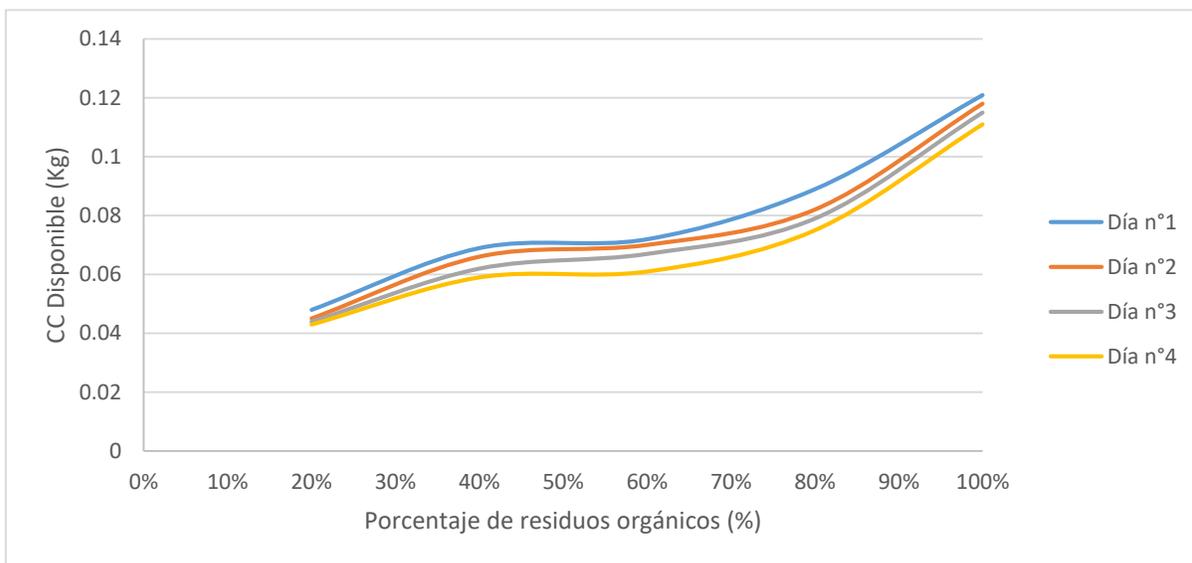
Figura 5: Gráficos experiencia 5.



En la prueba n°5 podemos notar un comportamiento esperado. Un dato importante es que en A se utilizaron hojas de choclo y cascaras de poroto lo que termino por otorgarle a dicha probeta una gran CC disponible.

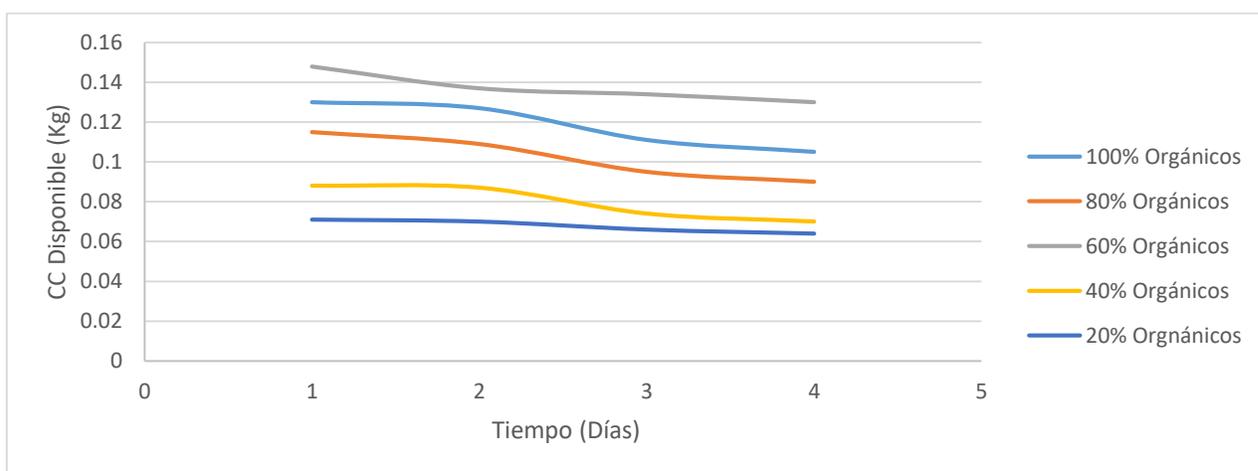
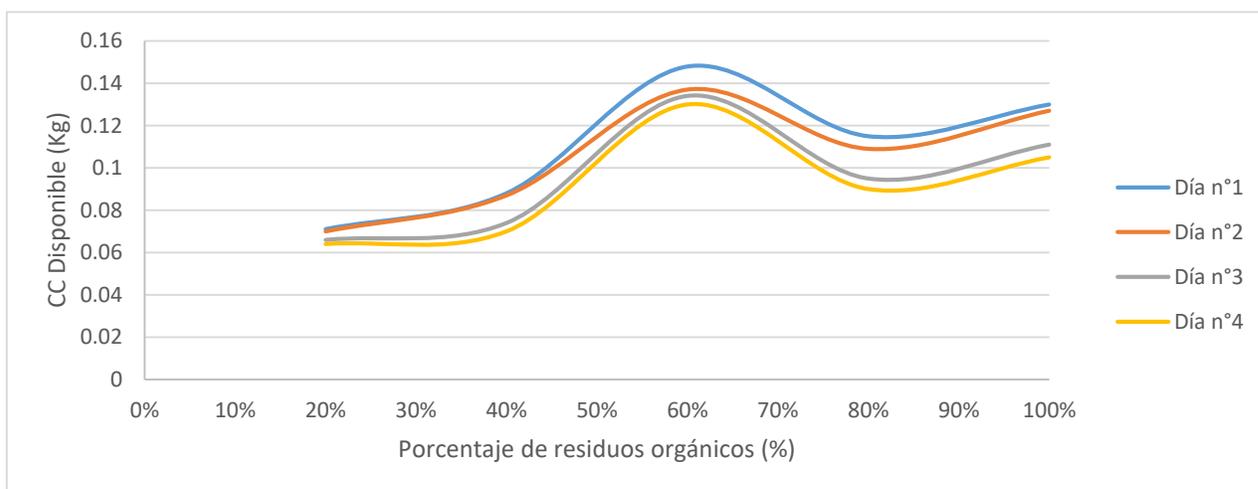
La biodegradación mantiene la tendencia y provoca curvas con pendientes negativas a mayor cantidad de residuos orgánicos.

Figura 6: Gráficos experiencia 6



La experiencia n°6 reacciona a lo esperado debido a que en esta experiencia se utilizó el mismo tipo de residuos orgánicos e inorgánicos, tejas y cascaras de choclo respectivamente y varió su proporción en cada probeta.

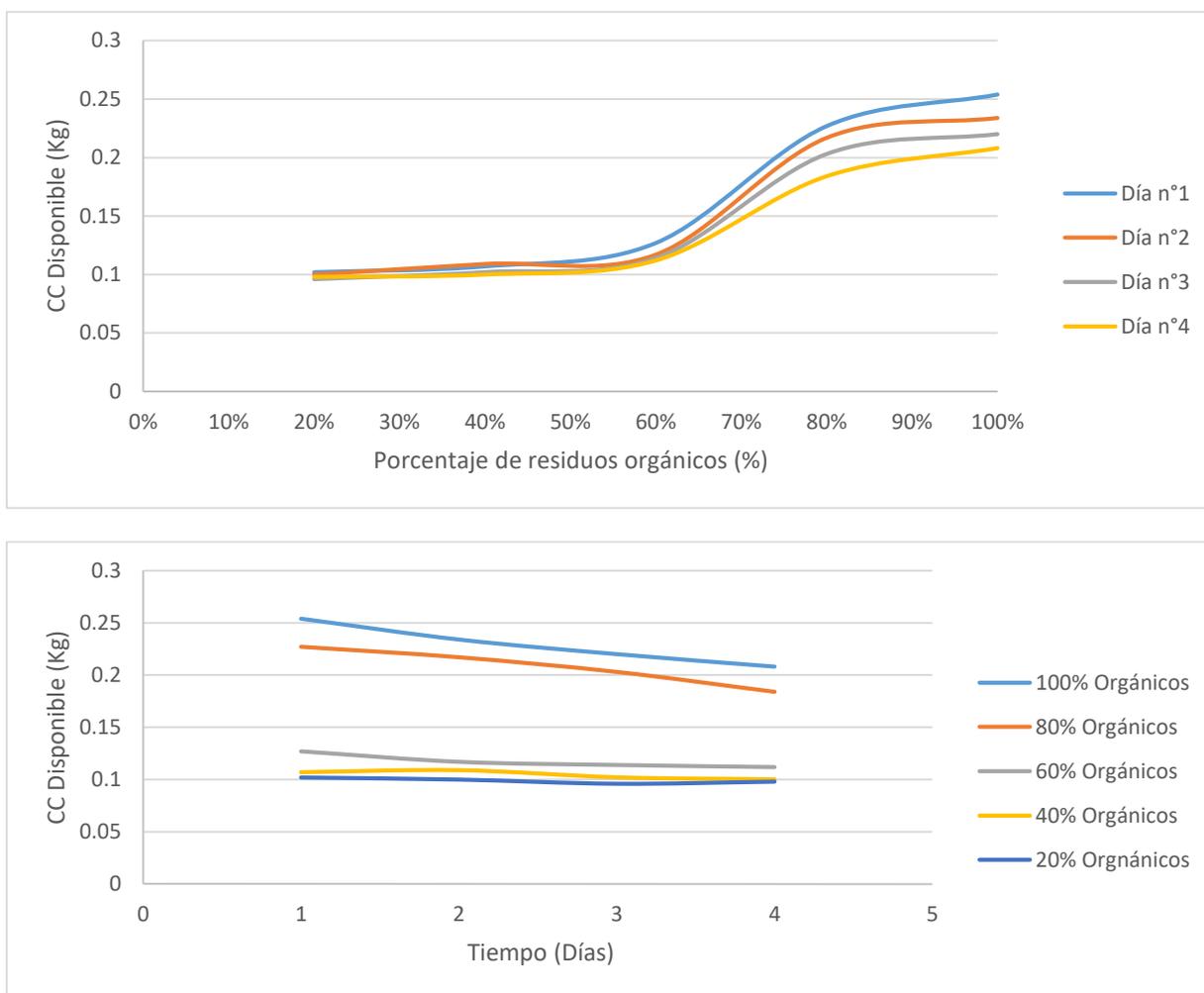
Figura 7: Gráficos experiencia 7



En la prueba n°7 podemos ver un comportamiento esperado, salvo en C (60%) donde notamos una CC disponible considerablemente mayor que sus pares, lo que se justifica con la incorporación de ramas y hojas que hicieron notar su gran CC disponible en C.

En este caso podemos notar que C (60%) a pesar de que tiene una mayor CC disponible, en los 4 días la biodegradación no ha disminuido su peso tanto como en A, esto debido a que las ramas necesitan un tiempo mayor para biodegradarse.

Figura 8: Gráficos experiencia 8

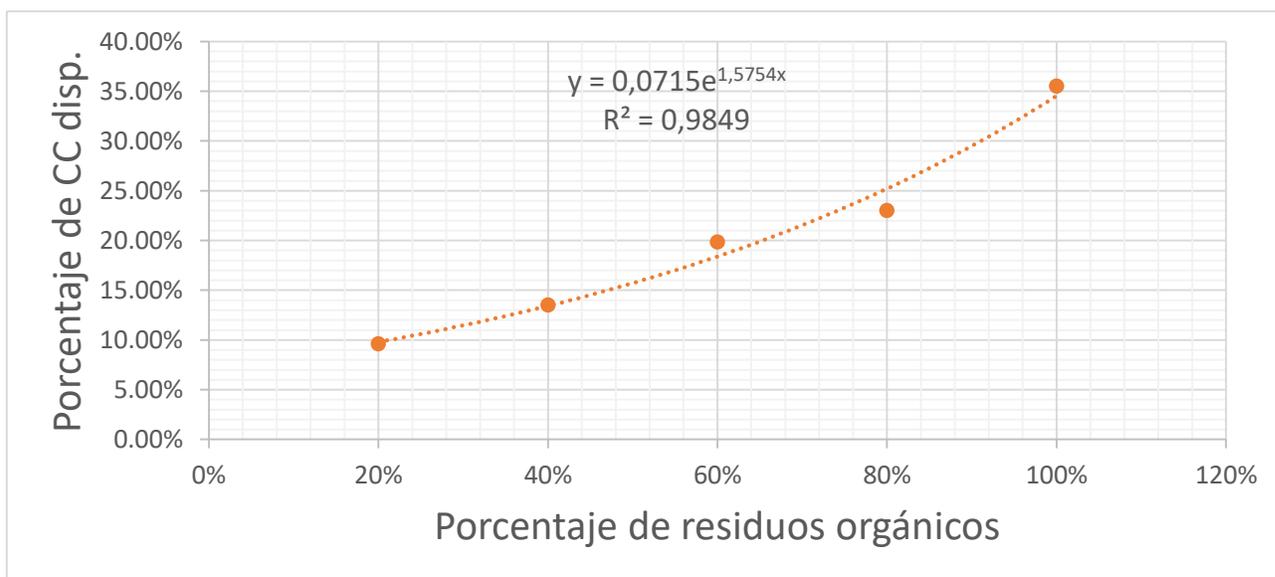


En la última experiencia podemos ver una casi constante CC disponible entre C, D y E (60%, 40% y 20% respectivamente) esto debido a la incorporación de tejas como materia inorgánica. Las tejas según ensayos paralelos poseen capacidad de campo no despreciable, lo que termina por igualar la CC disponible en entre C, D y E, aunque en A y B podemos notar una considerable diferencia. Cabe recalcar que en esta experiencia se utilizaron tejas como residuos inorgánicos y hojas de porotos, choclos como residuos orgánicos.

4.2.3.3.- Curvas estimadas

Para la obtención de la curva estimada se promediaron las capacidades de campo disponibles obtenidas el primer día de prueba de cada probeta, por lo que se obtuvo un punto para cada porcentaje de residuos orgánicos.

Figura 9: Curva estimada Capacidad de campo disponible



La expresión estimada quedaría de la siguiente manera.

$$CC_{disp} = 0.0576e^{1.7096x}$$

Donde:

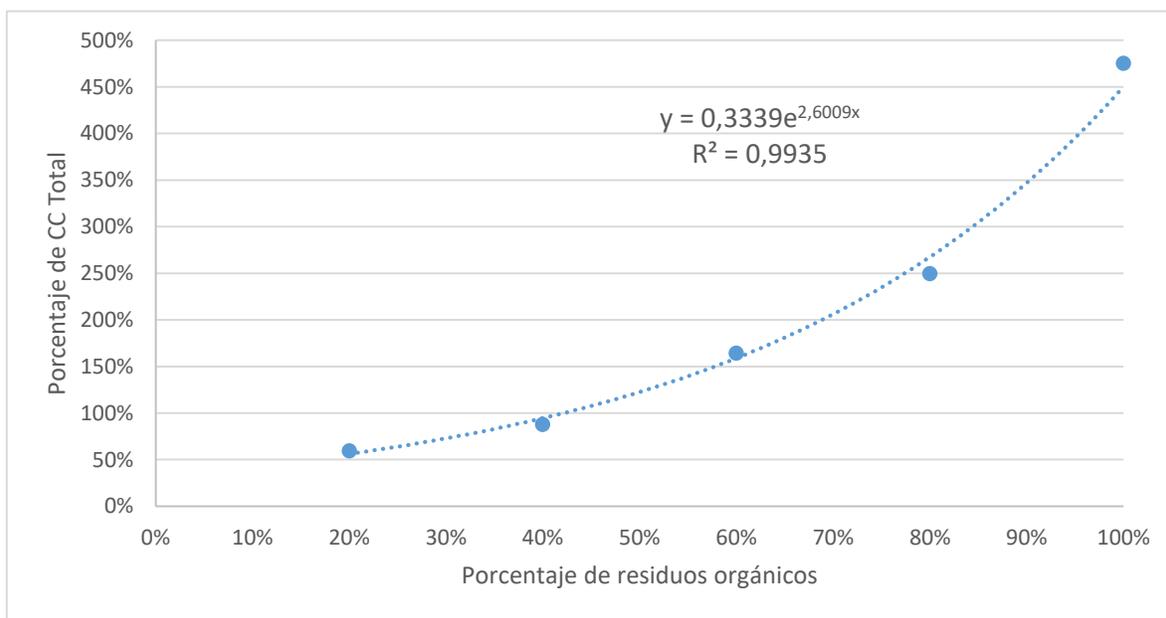
CC_{disp} = Porcentaje del peso actual de la muestra de residuos equivalente a la capacidad de campo disponible. [%]

x = Porcentaje de residuos orgánicos en la muestra [%]

Podemos notar que el coeficiente de determinación es muy cercano a 1 por lo que representa bien la relación entre el porcentaje de residuos orgánicos y la capacidad de campo disponible. Además, tal como se ha descrito, la variación de compactación y biodegradación a largo plazo no fueron incluidas en el análisis, variables que podrían influir mucho el resultado de la expresión expuesta si se integraran.

Para la construcción del siguiente gráfico se obtuvieron las capacidades de campo totales de las experiencias 1,7 y 8 donde se utilizó el horno para conocer los pesos en condición seca de las muestras, dichas capacidades de campo fueron promediadas y se obtuvieron los puntos de la curva. Los porcentajes de capacidades de campo total están en función del peso seco, siendo este el 100%. Los datos utilizados para la construcción se encuentran en el respectivo anexo

Figura 10: Curva estimada Capacidad de campo total



La expresión estimada quedaría de la siguiente manera.

$$CC_{Total} = 0.3339e^{2.6009x}$$

Donde:

CC_{Total} = Porcentaje del peso seco de la muestra de residuos equivalente a la capacidad de campo total. [%]

x = Porcentaje de residuos orgánicos en la muestra [%]

Al igual que la capacidad de campo disponible, la capacidad de campo total va creciendo de manera exponencial a medida que el porcentaje de residuos orgánicos aumenta.

5.- CONCLUSIONES

Según la CONAMA el año 2009 se generaron aproximadamente 16.9 millones de toneladas de residuos (sin considerar los residuos de mineras) de los cuales 6,5 correspondían a residuos domiciliarios, y de estos apenas el 48% eran residuos orgánicos, el resto se dividían en plásticos, vidrios, metales, entre otros. Una cifra preocupante si se piensa en la pequeña capacidad de campo que esta mezcla de residuos con un 48% de orgánicos podría poseer y la escasa capacidad de absorción que tendrían frente a la precipitación, lo que seguramente culminó con una abundante generación de lixiviados en los rellenos sanitarios.

Mediante este estudio, fue posible conocer las humedades en estado natural, de saturación y la masa seca de 3 experiencias más la de algunos residuos en el experimento 1. Esto nos indica como a pesar de que los residuos orgánicos están compuestos en su mayoría de agua, su capacidad de campo disponible no es de gran magnitud, salvo excepciones (como los materiales celulósicos), pero aun así es mucho mayor que la de los residuos inorgánicos por lo que su aporte en rellenos sanitarios, si lo llevamos a millones de toneladas de residuos significaría un importante espacio que podría ser cubierto con las precipitaciones y que se traduciría en una disminución considerable en la generación de lixiviados. También pudimos ver como los residuos orgánicos poseen una capacidad de campo total mucho mayor que los residuos inorgánicos, hecho que explica el alto contenido de humedad de estos y el bajo peso en condición seca que poseen con respecto a su masa en condición natural.

Es importante destacar que en el estudio no se e consideraron variables muy importantes como el efecto de la biodegradación a largo plazo y la compactación, que es variable dentro de un relleno sanitario, las que pueden influenciar mucho los resultados.

También dilucidamos como la capacidad de campo varia si mantenemos constante la compactación y variamos la composición. En promedio las probetas que contenían un 20% de residuos orgánicos captaron un 10% de masa de agua con respecto a su masa inicial (0,5 Kg) mientras que las que contenían un 100% capturaron en promedio un 40% de agua con respecto a su masa inicial (0,5 Kg). Para representar esta relación obtuvimos una curva exponencial con un coeficiente de determinación muy cercano a 1. La ecuación obtenida permite realizar una estimación de la capacidad de campo disponible según el porcentaje de residuos orgánicos que se tengan en un depósito, dicha información puede ser utilizada de

muchas maneras favorables, permite estimar la cantidad de agua que será absorbida, la cantidad de lixiviados que se generen y cumple también con mostrar la importancia y los beneficios de una buena gestión.

6.- BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

- Mario Gutiérrez, (1996), *Ecología: Salvemos el planeta tierra (1996)*, Ciudad de México.
- Israelson, O.W. and West, F.L, (1922). "*Water holding capacity of irrigated soils*".
- Colomar Mendoza, F.J. y Gallardo Izquierdo, (2007), *Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. Universidad Politécnica de Valencia. Ed. LIMUSA.*
- Jhon Pitchel, (2010), *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial, Second Edition.*
- CONAMA, (2010), *Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos.*
- Jesus Pastor Piñeiro, *Vertederos controlados, Problemática de los lixiviados.*
- Rajendra D Vaidya, (2002), *Solid Waste Degradation, Compaction and Water Holding Capacity.*
- Julio Villamayor Medina, José Félix Grau Fernández y Roberto A. Lima Morra, *Determinación de la cantidad de lixiviado generado en rellenos sanitarios.*
- CalRecovery.inc, *Capítulo 12: Formación de lixiviado y Balance Hidráulico*, [en línea], consultado: 20 de enero 2017

<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/guia/cap12.pdf>
- Superintendencia del Medio Ambiente, (2015), *Informe de fiscalización ambiental: Vertedero Boyeco de Temuco*, [en línea], consultado: 25 de enero 2017

https://drive.google.com/file/d/0ByN4tK2Vi_rpSXBpcnpDRXU0M3M/view

- Ministerio del Medio Ambiente, (2011), *Artículo 52016 Capítulo 3: Residuos*, [en línea], consultado: 25 de enero 2017

http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf

ANEXOS

ANEXO A: TABLAS DE DATOS

Anexo A.1: Pesajes diarios.

N°1	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,602	0,608	0,667	0,62	0,553
2	0,592	0,605	0,662	0,62	0,553
3	0,587	0,601	0,662	0,619	0,548
4	0,572	0,597	0,657	0,605	0,538

N°2	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,661	0,561	0,538	0,51	0,533
2	0,645	0,555	0,535	0,51	0,53
3	0,632	0,55	0,53	0,505	0,526
4	0,624	0,542	0,525	0,505	0,52

N°3	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,612	0,608	0,58	0,54	0,53
2	0,605	0,601	0,578	0,54	0,53
3	0,597	0,596	0,575	0,536	0,527
4	0,592	0,59	0,57	0,535	0,525

N°4	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,694	0,561	0,552	0,523	0,515
2	0,673	0,556	0,549	0,52	0,513
3	0,668	0,545	0,542	0,515	0,511
4	0,657	0,538	0,541	0,511	0,507

N°5	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,847	0,652	0,61	0,584	0,534
2	0,801	0,632	0,608	0,572	0,522
3	0,79	0,628	0,602	0,569	0,521
4	0,765	0,619	0,597	0,561	0,518

N°6	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,621	0,589	0,572	0,569	0,548
2	0,618	0,582	0,57	0,566	0,545
3	0,615	0,579	0,567	0,562	0,544
4	0,611	0,575	0,561	0,559	0,543

N°7	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,63	0,615	0,648	0,587	0,571
2	0,627	0,609	0,637	0,588	0,57
3	0,611	0,595	0,634	0,574	0,566
4	0,605	0,59	0,63	0,57	0,564

N°8	Probetas				
Dia	A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
1	0,754	0,727	0,627	0,607	0,6
2	0,734	0,717	0,617	0,609	0,602
3	0,72	0,703	0,614	0,602	0,596
4	0,708	0,684	0,612	0,6	0,598

Anexo A.2: Pesos secos.

N°1	Peso Seco Residuos			
A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
100%	80%	60%	40%	20%
0,134	0,194	0,238	0,358	0,417

N°7	Peso Seco Residuos			
A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
100%	80%	60%	40%	20%
0,119	0,203	0,258	0,312	0,335

N°8	Peso Seco Residuos			
A(Kg)	B(Kg)	C(Kg)	D(Kg)	E(Kg)
100%	80%	60%	40%	20%
0,101	0,168	0,24	0,301	0,342

Anexo A.3: Capacidad de campo disponible [Kg]

N°1		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,102	0,108	0,167	0,12	0,053	
2	0,092	0,105	0,162	0,12	0,053	
3	0,087	0,101	0,162	0,119	0,048	
4	0,072	0,097	0,157	0,105	0,038	

N°2		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,161	0,061	0,038	0,01	0,033	
2	0,145	0,055	0,035	0,01	0,03	
3	0,132	0,05	0,03	0,005	0,026	
4	0,124	0,042	0,025	0,005	0,02	

N°3		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,112	0,108	0,08	0,04	0,03	
2	0,105	0,101	0,078	0,04	0,03	
3	0,097	0,096	0,075	0,036	0,027	
4	0,092	0,09	0,07	0,035	0,025	

N°4		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,194	0,061	0,052	0,023	0,015	
2	0,173	0,056	0,049	0,02	0,013	
3	0,168	0,045	0,042	0,015	0,011	
4	0,157	0,038	0,041	0,011	0,007	

N°5		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,347	0,152	0,11	0,084	0,034	
2	0,301	0,132	0,108	0,072	0,022	
3	0,29	0,128	0,102	0,069	0,021	
4	0,265	0,119	0,097	0,061	0,018	

N°6		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,121	0,089	0,072	0,069	0,048	
2	0,118	0,082	0,07	0,066	0,045	
3	0,115	0,079	0,067	0,062	0,044	
4	0,111	0,075	0,061	0,059	0,043	

N°7		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,13	0,115	0,148	0,088	0,071	
2	0,127	0,109	0,137	0,087	0,07	
3	0,111	0,095	0,134	0,074	0,066	
4	0,105	0,09	0,13	0,07	0,064	

N°8		CC disp. según % de orgánicos (Kg)				
Día	100%	80%	60%	40%	20%	
1	0,254	0,227	0,127	0,107	0,102	
2	0,234	0,217	0,117	0,109	0,1	
3	0,22	0,203	0,114	0,102	0,096	
4	0,208	0,184	0,112	0,1	0,098	

Anexo A.4: Capacidad de campo disponible [%]

N°1	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	20,4	21,6	33,4	24	10,6
2	18,4	21	32,4	24	10,6
3	17,4	20,2	32,4	23,8	9,6
4	14,4	19,4	31,4	21	7,6

N°2	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	32,2	12,2	7,6	2	6,6
2	29	11	7	2	6
3	26,4	10	6	1	5,2
4	24,8	8,4	5	1	4

N°3	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	22,4	21,6	16	8	6
2	21	20,2	15,6	8	6
3	19,4	19,2	15	7,2	5,4
4	18,4	18	14	7	5

N°4	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	38,8	12,2	10,4	4,6	3
2	34,6	11,2	9,8	4	2,6
3	33,6	9	8,4	3	2,2
4	31,4	7,6	8,2	2,2	1,4

N°5	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	69,4	30,4	22	16,8	6,8
2	60,2	26,4	21,6	14,4	4,4
3	58	25,6	20,4	13,8	4,2
4	53	23,8	19,4	12,2	3,6

N°6	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	24,2	17,8	14,4	13,8	9,6
2	23,6	16,4	14	13,2	9
3	23	15,8	13,4	12,4	8,8
4	22,2	15	12,2	11,8	8,6

N°7	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	26	23	29,6	17,4	14,2
2	25,4	21,8	27,4	17,6	14
3	22,2	19	26,8	14,8	13,2

N°8	CC disp. según % de orgánicos (%)				
Día	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
1	50,8	45,4	25,4	21,4	20
2	46,8	43,4	23,4	21,8	20,4
3	44	40,6	22,8	20,4	19,2

4	21	18	26	14	12,8	4	41,6	36,8	22,4	20	19,6
---	----	----	----	----	------	---	------	------	------	----	------

ANEXO B: FOTOGRAFIAS DE EXPERIMENTOS



Fotografía B.1: Pesaje de muestras secas.



Fotografía B.2: Horno para el secado de muestras a 60°C



Fotografía B.3: Muestras en horno.



Fotografía B.4: Probetas listas para ser sumergidas.



Fotografía B.5: Probetas sumergidas con carga compactante.



Fotografía B.6: Vista cercana a probeta sumergida.