Herramientas para la Investigación Científica

Plan experimental (PLEX)

Flavio Lozano-Isla

Agr. MSc, E-mail: [flavjack@gmail.com](mailto:flavjack@gmail.com)

# Introducción

PK q

Me interesé en escribir el presente manuscrito por 2 razones. La primera, para guiar a estudiantes o profesionales en como planear un proyecto de investigación de una manera facil; y segundo, ya que mientras escribia mi proyecto para el doctorado y organizaba información de varios años de los experimentos que realizamos, me pasé días organizando bases de datos de diversos estudiantes que ayudaron en la colecta de la información, y más que organizar, pareciera que estoy tratano de descifrar jeroglíficos, y solo él que colectó la información sabe lo que significa, lo que consume mucho tiempo y es cansativo.

Con frecuencia estudiantes me escriben, ya que tienen dudas para iniciar su proyecto de investigación o dar forma a un idea, y me hacen mutiples preguntas y afirmaciones, tales como: Cómo planteo mi proyecto de investigación?, Qué tipo de análisis debo usar?, mi asesor no tiene tiempo para ayudarme, no se como iniciar mi trabajo, estoy perdido ingeniero, etc… y la verdad me gustaria ayudar a cada uno de ellos de forma personalizada, pero muchas veces no cuento con el tiempo suficiente para hacerlo.

Uno de mis mentores durante mis prácticas profesionales, a quien recuerdo siempre, el Ing. Raúl Eyzaguirre me dijo en algun momento: “El proceso de investigación tiene muchos errores durante su ejecución, pero mismo así la ciencia siempre avanza.” ironizando la forma en como muchos investigadores hacen ciencia y los problemas que tienen que resolver los que analizan la información al final de las investigaciones. O cuando algun investigador venia a su oficina con una base de datos y le decia “Por favor, haz todo los analisis necesario para este trabajo” sin si quiera ellos mismos saber cual es el objetivo, interrogante y/o hipotesis que desean responder con su investigación. Este tipo de casos es muy comun entre muchos investigadores, que emprenden algo sin tener una idea clara de lo que estan buscando y tienen la esperanza de encontrar algo en el camino, lo que mi asesor de doctorado lo llamo: “fishing expedition” (Una investigación realizada con la esperanza, aunque no con el propósito declarado, de descubrir alguna información). Lo cual tampoco esta mal ya que muchas cosas se descubrierón por casualidad.

Pero, en este manuscrito nos estamos centrados en la investigación como un proceso organizado y estructurado y no como algo que estemos realizando al azar. De esta forma, evitar problemas posteriones, como cuando en algun momento escuché por ahí: “Traer un trabajo de investigación culminado es como traer un cadaver, lo unico que puedo hacer es la autopsia y decirte que fue lo que sucedió”, haciendo referencia a que muchas veces emprendemos una investigación sin una planificación o metodología adecuada que me permitiran responder las hipotesis de mi trabajo. Por lo que no es recomendable iniciar una trabajo investigación sin tener una idea clara de lo que deseamos encontrar, que a lo contrario de lo que pensamos nos puede llevar a una perdida de tiempo y recursos.

Ser investigador es un trabajo basado en la disciplina, perseverancia y deseo por la mejora continua; que se va ganando con el tiempo y la experiencia, y muchas veces se logra a base de prueba y error (horrores tambien xD), así que no te sientas aturdido o decepcionados si recien estas comenzando… recuerda, para que un árbol sea grande y fuerte en algun momento fue una pequeña semilla que tuvo que germinar, crescer y luchar contra muchas condiciones adversas.

Este manuscrito es un conjunto de recomendaciones, de acuerdo a mi experiencia, con el que deseo compatir ideas básica para el planeamiento y manejo de un trabajo de investigación con la concepcion de que un trabajo de investigación es un trabajo multidisciplinario y de equipo. Puede servir de guía a los que por primera vez esten desarrollando un trabajo de investigación o recomendaciones para los que ya tiene experiencia. Se harán uso herramientas modernas y de acceso gratuito que no dificulten su aplicación en cualquier ambito de investigación.

La idea de este manuscrito se basó en el documento que mi asesor del doctorado compartió en algun comento conmigo (Kamoun, [2013](#ref-kamoun2013GOHREP)), el cual me parecio muy interesante y en referencia a este documento, lo traducí, hice modificaciones y lo amplié de acuerdo a mi experiencia.

Trataré en este documento ser lo más breve y conciso. A traves de este documento tengo planeado mostrarles (ire escribiendo poco a poco): i) Como plantear una idea de investigación, ii) Como organizar la información de la investigación, iii) Uso de herramientas para la colecta de datos, y iv) Como organizar, presentar y redactar un documento técnico científico (tesis/artículo). Incluiré material como documentos, videos y links con información de los temas que se está desarrollando con explicaciones que permitiran fijar las ideas de una manera fácil y sencilla.

Espero que este manuscrito sea de utilidad para los que lo lean y el autor esta dispuesto a recibir todo tipo de criticas (destructivas y constructivas), ya que la crítica es la base de la mejora continua :).

# Estructura del plan experimental

Para iniciar con la formulación de la idea de trabajo, inicialmente no es necesario incluir referencias bibliográficas y puede ser escrita con tus propias palabras para faciltar que fluyan las ideas. A medida que la idea se va tornando más estructurada se puede ir incluyendo referencias para sustentarlas. Para estructurar la idea de un plan experimental o trabajo de investigación se sugiere que debe contener como mínimo la siguiente estrúctura.

## Idea

Todo trabajo de investigación inicía con una idea o interregontante a un problema o pregunta que se desea resolver y esa es la base para dar inicio a una investigación.

## Meta

El objetivo principal del trabajo, debe ser escrita como un título provisional de la investigación. Conteniendo la mayor cantidad de informacion posible en la oración.

## Hipótesis

Es la pregunta de investigación escrita en un parrafo, la cual debe ser redactada como una pregunta o como una afirmación a la idea que se desea proponer.

## Fundamento

Escribir los fundamento o razones lógicas para sustentar la idea. Posteriormente se puede adicionar información de documentos o artículos cientificos en forma de citas bibliográficas que ayuden a fundamentar la hipotesis o preguntas de investigación.

## Objetivos

Las acciones que se llevaran acabo para el cumplimiento de la meta. Deber ser escrita en forma de acción. (ie. Se evaluará…, Se estimará…, Se realizaran…, etc)

## Plan

Un bosquejo de la metodología de como se llevará acabo el trabajo de investigación. Esto será la base para el desarrollo de los Materiales y Métodos que encontramos en los trabajo de investigación.

## Proyecto de investigación

Luego del desarrollo de los puntos mencionados en la estructura del plan experimental, se tendra una idea de como se construirá el flujo de trabajo lo que puede posteriormente plasmarse en un proyecto de investigación para un trabajo de tesis o artículo científico.

## Plex :: Caso de la vida real!

Para ejemplificar todo lo que estamos desarrollando en este manual vamos usar un trabajo que presenté como una publicación para la revista científica “Peruvian Journal of Agronomy” de la Universidad Agraria la Molina (Lozano-Isla et al., [2017](#ref-lozano-isla2017Germination)).

### Idea

Mientras me encontraba trabajando en mi proyecto de tesis para la maestria en Brasil tenia que hacer algunos cursos y uno de ellos era “Fisiología de las semillas” que era dictado por mi asesor el Dr. Francisco Pompelli, el curso consistía en el desarrollo de un pequeño experimento y la redacción de un mini-paper como trabajo final.

Durante el curso el profesor presentó el tema de la influencia de la imbibición de la semillas en el proceso de germinación lo que me pareció interesante y que un experimento en eso no iria a tomar mucho tiempo ya que solo tenia 3 meses para hacer todo el experimento y redactar mi reporte.

En ese momento estaba trabajando con el cultivo de *Jatropha curcas* un planta con potencial para bio-combustible y entonces me pregunte cuál sera el tiempo de imbibición máxima que puede tolerar las semillas de *Jatropha curcas* sin causarle algun tipo de daño fisiologico durante la germinación, dando así inicio la idea del trabajo de investigación.

### Meta

Evaluar el proceso de germinación de *Jatropha curcas* bajo diferentes tiempos de imbibición.

### Hipótesis

Cuál sera el maximo tiempo de imbibición que puede soportar las semillas de *jatropha curcas* sin que presenten daños a nivel fisiológico durante la germinación?.

### Fundamento

La mayoria de semillas presentan un tiempo máximo de imbibición, y si es superado puede generar daños fisilógicos durante la germinación reducciendo el porcentaje de germinación y tiempo de germinación.

### Objetivos

* Determinar el mejor tiempo de imbibición para semillas de *Jatropha curcas*.
* Evaluar la germinación de semillas de *Jatropha curcas* sometidas a distintos tiempos de imbibición.
* Evaluar las caracteristicas morfologicas y fisiológicas durante la imbición de semillas de *Jatropha curcas*.

### Plan

1. Materiales
   * Biológico. Semillas de *Jatropha curcas*.
   * Laboratorio. Agua destilada, vasos plasticos.
   * Invernadero. Arena, bandejas para germinación.
2. Diseño experimental. Diseño en Bloques Completos al Azar con 4 repeticiones y 13 tiempos de imbibición de 0 a 24 horas con intervalos de 2 horas entre cada tratamiento.
3. Metodología. Se pondra semillas de *Jatropha curcas* en distintos tiempos de imbibición en laboratorio y luego de cada tiempo de imbibicón las semillas se pondran en bandejas para evaluar el proceso de germinación en invernadero.
4. Variables a evaluar
   * pH de la solución de imbibición.
   * Conductividad electrica de la solución de imbibición (mS)
   * Contenido relativo de agua de las semillas (%)
   * Porcentaje de germinación (%)
   * Tiempo medio de germinación (días)
5. Manos a la obra!

Teniendo esta información como base del plan experimental se procederá al desarrollo del libro de campo o fieldbook.

# Diseño experimental

PK q

El planeamineto de un experimento es parte crucial para definir el éxito de un trabajo de investigación, mismo que se realice un plan de trabajo no nos asegura el éxito del trabajo ya que acontencen diferentes imprevistos pero al menos podemos recudir la incertidumbre y no estar a la dereiva durante su ejecución. Para ayudar a la reducción de la incertidumbre introduciremos el termino **fieldbook** que significa **“libro de campo”** es donde organizaremos toda la información de nuestra investigación, y sera desarrollada en una hoja de calculo virtual, la cual contendrá una pestanha con los datos mínimos o información de nuestro trabajo de investigación y los datos colectados, de esta manera ahorrar tiempo en el procesamiento y análisis de los datos, ya que muchas veces no son los análisis los que consume el tiempo del investigador, si no la identificación y reorganizacion de los datos.

PK q

## Libro de campo “Fieldbook”

PK q

## Nombre del libro de campo

Iniciaremos con definir el nombre del libro de campo, ya que muchas veces aunque paresca sencillo colocar un nombres a un documento es un gran reto, y luego de transcurrido algun tiempo se nos dificulta encotrarlo. Para nombrar los libros de campos les sugiero usar la siguiente nomenclatura.

### Nombre del lugar

Permite facilitar la identificacion del lugar donde se realizó el experimento o trabajo de investigación.

### Fecha

En el formato internacional (YYYYMMDD), usualmente la fecha esta relacionada al inicio o establecimiento del experimento lo que nos ayudara a contar los dias despues del inicio de trabajo y una forma facil de filtrar si tenemos varios trabajos durante el mismo anho.

### Breve descripción

Palabras claves o ayuda memoria para recordar el nombre del trabajo, puede ir entre paretesis y no muy extenso.

### Ejemplo

PK q

PK q

## Pestañas en el libro de campo

PK q

Para el libro de campo (fieldbook) se sugiere que por lo menos esté constituido por 7 pestanhas ensenciales, las cuales pueden ser incrementadas de acuerdo a las necesidades de cada experimento (i.e. informacion metereologica, planilla de riego, análisis de suelo, etc).

A continuación se realizará una descripción de lo que debe contener cada una de las 7 pestanhas recomendadas.

### Informacion (info)

Esta pestanha es clave y debe ser completada en su totalidad ya que esta información es valiosa al momento de redactar algun reporte o escribir un artículo, permitiendonos tener toda la información a la mano, asi como tambien contener los objetivos del trabajo lo que permitirá a a los demás colaboradores entender el trabajo.

![Figure 1: Datos mínimos y obligatorios en el hoja de información (info) del libro de campo o fieldbook](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 1: Datos mínimos y obligatorios en el hoja de información (info) del libro de campo o *fieldbook*

### Variables (var)

Esta pestanha es clave para entener el libro de campo y las abreviaciones que usemos, así como estandarizar el nombre de las variables y estandarizar la colecta de datos. Se realizará una lista de las variables a evaluar durante el experimento y se adicionará las abreviaturas del nombre de las variables las cuales iran como encabezados en la hoja del libro de campo (fb).

![Figure 2: Ejemplo de como debe estructurarse la pestaña de las variables (var)](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 2: Ejemplo de como debe estructurarse la pestaña de las variables (var)

Todo trabajo que este relacionado con la descripción de algun cultivo se debe tener en cuenta el uso de los *descriptores* como patron para determinar los nombres de la variables. La pestaña de variables de contener como mínimo las siguientes columnas:

* *Variables.* Nombre completo de la variable.
* *Abbreviation.* Nomenclatura que se usará en el libro de colecta de datos, así evitar el uso del nombre completo.
* *Unit/Class.* Se debe especificar la unidad o tipo de la variable para entender la escala de medición. Se debe usar el Sistema Internacional de Medidas.
* *Description.* Especificar alguna información adicional de la variable o de donde se extrajo la metodología para le medición.

Esta es la estructura básica sugerida para hacer la pestanha de variables en un libro de campo y es importante para que los otros miembros del equipo puedan entender como fue tomadá la información.

### Libro de campo (fb)

Pestanha que contendra el disenho o la base de datos de la información a colectar. Se puede introducir el tipo de diseño experimental (ie. DCA, DBCA, DCL) los cual puede ser generado con el paquete agricolae (de Mendiburu, [2020](#ref-R-agricolae)) en el software estadistico R (R Core Team, [2019](#ref-R-base)).

### Disenho de campo (fds)

Será utilizado en caso de existir una distribución espacial del trabajo de investigación o si se presenta algun disenho estadistico (ie. DCA, DBCA, DCL) lo que permitira guiarse durante las actividades de colecta de información como croquist del trabajo.

PK q

### Cronograma (crn)

Pestanha dedicada al planeamiento de la cronología de las actividades y evaluaciones para organizar las acciones durante el experimento (ie. uso de materiales, prestamos de equipos, disponibilidad de espacios, etc).

### Diario (dry)

Es la bitácora del investigador, donde se informará de lo que va aconteciendo durante el desarrollo del experimento (lo bueno, lo malo y lo feo). Se sugiere registrar el día y el conteo en dias despues del inicio del experimento.

### Presupuesto (bdg)

Muchos investigadores omiten esta parte durante la planificación de sus proyectos de investigación, si bien el trabajo puede llevarse acabo dentro de una institución de investigación que cubra todo los gasto y materiales, es recomendable tener una estimación de los costos ya que en el futuro podras planear tus trabajos con costos realistas y no quedarse sin fondos durante la ejecución del proyecto (problema usual con muchos investigadores).

## Template :: libro de campo (Fieldbook)

Para poder acceder al modelo sugerido del libro de campo deben hacer una copia del documento para ustedes mismos. Con esto tendran acceso al documento y podran modificar de acuerdo a sus necesidades.

### Cómo crear una copia de la plantilla?

1. Ir a link: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Y6Wrwz5LyFh0nge8DyOhfLGmRu0N7rQKN9Vv7UoBQ60/edit#gid=661894213>
2. Ir a *archivos*
3. *Crear una copia*
4. Renombrar el archivo

![Figure 3: Proceso de como crear una copia de la plantilla del libro de campo o fieldbook](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 3: Proceso de como crear una copia de la plantilla del libro de campo o fieldbook

# Colecta y organización de datos

## Exportar plantilla de evaluación

Para esta sección vamos a usar nuestra idea de investigación “*Jatropha curcas* imbibition time” y vamos a crear el diseño experimental haciendo uso del paquete agricolae (de Mendiburu, [2020](#ref-R-agricolae)) que tambien permité hacer el diseño experimental de diversos modelos estadisticos para experimentos de ciencias biológicas y agrícolas.

En base a nuestro plan experimental tenemos la siguiente información:

Table: (#tab:dse)Información básica para el experimento

Variables Abbreviation Units/Class Description

——————— ————- ———— ——————————————-

Bar code bar\_code Factor Unique bar code identification for each EU

Plots identification plots Factor Unique identification for each EU

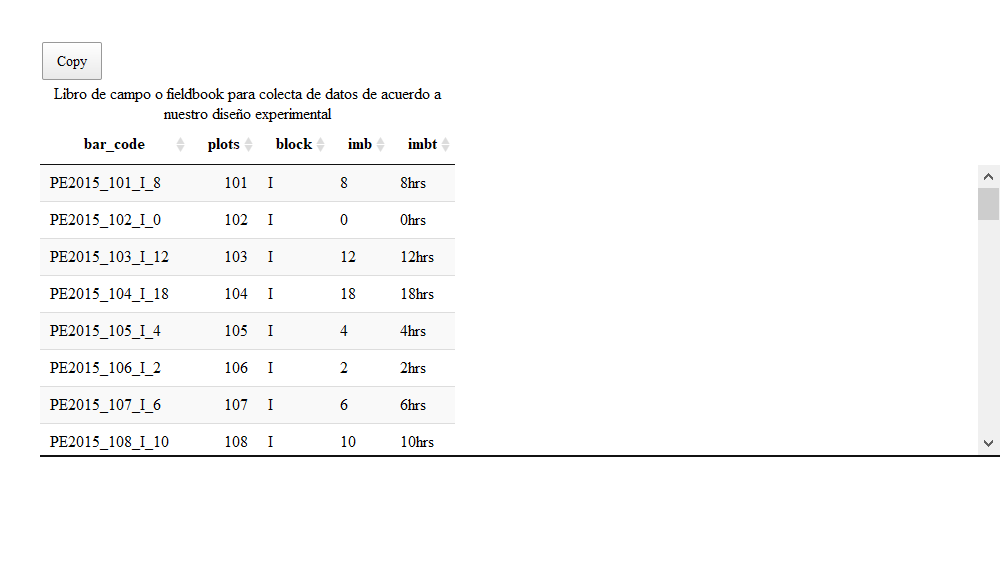
Block block Factor 4 repetitions

Imbibition time imb Factor 13 imbibition time each 2 hours

Con la información de la tabla 1 diseñaremos nuesto libro de campo y la distribución del experimento en el área de trabajo.

library(tidyverse)  
library(agricolae)  
  
imb <- seq(from = 0, to = 24, by = 2)  
rep <- 4  
  
fbd <- design.rcbd(trt = imb,  
 r = rep,  
 seed = 20,   
 serie = 2)  
  
fb <- fbd$book %>%   
 mutate(imbt = paste0(imb, "hrs")) %>%   
 mutate(block = recode(block,  
 "1" = "I",  
 "2" = "II",  
 "3" = "III",  
 "4" = "IV")) %>%   
 mutate(bar\_code = paste("PE2015", plots, block, imb, sep = "\_")) %>%   
 select(bar\_code, everything())  
  
fds <- zigzag(fbd)  
fds <- matrix(fds[,1],byrow=TRUE,ncol=13) %>%   
 as.data.frame()  
  
writexl::write\_xlsx(x = fb, path = "files/fb.xlsx")

El libro de campo para colecta de la información sera usado para las etiquetar las unidades experimentales y el libro de colecta de datos que nos permitirá la evaluación de los experimentos con nuestras tablets o teléfonos inteligentes.



La distribución de nuestro experimento en el campo o invernadero tendría el siguiente esquema.

Table: (#tab:unnamed-chunk-13)Distribución del experimento en un Diseño en Bloque Completos al Azar (DBCA)

V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10 V11 V12 V13

—- —- —- —- —- —- —- —- —- —- —- —- —-

101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113

213 212 211 210 209 208 207 206 205 204 203 202 201

301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313

413 412 411 410 409 408 407 406 405 404 403 402 401

## Etiquetado de unidades experimentales

El etiquetado de las unidades experimentales es una actividad que muchas veces es deja de lado por el trabajo que genera. Piensalo 2 veces antes de dejar esta actividad para el final, un etiquetado adecuado, facilitara la evaluación y toma de datos en todas las instancias del proyecto. Además nos permitirá usar una tablet o telefono inteligente para colectar los datos de cada unidad experimental.

Herramientas necesarias para las etiquetas:

1. Libro de campo o fieldbook en formato xlsx o csv.
2. Web-App: Next Generation Label System Printer <https://lpsng.rsj.de/>
3. Modelo base para las etiqueta (sugerencia) <https://lpsng.rsj.de/jqedit.html#02a34156-6bbc-4dfd-e66a-7aaa5955c058>
4. Impresora o servicio de gigantografía para las etiquetas.

El libro de campo debe contener por lo menos las siguientes columnas:

* Un columna con códigos de identificación únicos, que nos permitan generar los codigos de barras para nuestras unidades experimentales.
* Columnas con los factores del experimento.

PK q

PK q

![Figure 4: Configuración de modelo base para las etiqueta](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 4: Configuración de modelo base para las etiqueta

![Figure 5: Suscription recomendada para la creación de las etiquetas](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 5: Suscription recomendada para la creación de las etiquetas

### Video :: etiquetas

### Ejemplo :: etiquetas

## Libro de colecta de datos

Diseño de libro de colecta de datos o libro de campo fisico, es el documento que me servirá de soporte para las evaluaciones de los trabajos de investigación así como contener toda la información impresa del experimento en caso de no tener acceso a la internet o no contar con una dispositivo inteligente permitiendonos colectar la información sin ningun inconveniente.

Herramientas necesarias para el libro de campo:

1. Libro de campo o fieldbook en formato xlsx o csv.
2. Web-App: Next Generation Label System Printer <https://lpsng.rsj.de/>.
3. Modelo base para las el libro de campo (sugerencia) <https://lpsng.rsj.de/jqedit.html#ac64b019-6040-441a-ae5d-9bbfc9856b36>
4. Impresora normal.

PK q

PK q

![Figure 6: Imagen insertada en el libro de colecta de datos para la toma de información experimental](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 6: Imagen insertada en el libro de colecta de datos para la toma de información experimental

### Video :: libro de colecta de datos

### Ejemplo :: libro de colecta de datos

## Evaluación de experimentos

Independientemente del tipo de diseño que hayas elegido el cual será utilizado para analizar los datos colectados. La informacion debe ser tomada e inserida al libro de campo para cada unidad experimental.

Los materiales necesarios para evaluar los experimentos con nuestos dispositivos inteligentes son los siguientes:

1. Libro de colecta de datos.
2. Libro de colecta de datos impreso.
3. Tablet o celular.
4. ScanPet app <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.maiko.xscanpet&hl=es-419>

Para la evaluación de los experimentos se recomienda que las variables en el libro de colecta de datos tengan la siguiente estructura separado por sub guiones "\_":

1. Abreviación del nombre de la variable (3 a 4 letras).
2. Dias despues de la siembra de la evaluación (DDS).
3. Número de la sub muestra que se van evaluar.

Table: (#tab:vrnmt)Ejemplo de los nombres de las variables para el libro de colecta de datos.

Nombre de la variable Abreviación DDS Muestras Nombre columnas

———————— ———— —- ——— ————————–

Seed Coat Hardness sch 0 3 sch\_0\_1, sch\_0\_2, sch\_0\_3

Electrical conductivity elc 0 1 elc\_0\_1

![Figure 7: Nombre de las variables de evaluación en el libro de colecta de datos. Donde: sch: Seed Coat Hardness, hpt: Hydrogen potential, elc: Electrical conductivity, tct: Tetrazolium Chloride Test](data:text/html; charset=UTF-8;base64,)

Figure 7: Nombre de las variables de evaluación en el libro de colecta de datos. Donde: sch: Seed Coat Hardness, hpt: Hydrogen potential, elc: Electrical conductivity, tct: Tetrazolium Chloride Test

### Video :: configuracion de ScanPet app

### Video :: evaluación de experimentos

## Plex :: libro de campo

Libro de campo con datos reales de un experimento conteniendo toda la información que se explicó hasta el momento, desde la concepción de la idea, planificación y colecta de datos.

20150607PE (J. Curcas - Imbibition time) <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1gue-wSQcEu4nJigVZdUWsTfIIzhtxpDRdWAQiEHgKak/edit#gid=1981295232>

La información de este experimento dió como resultado la publicación: “Germination behavior of *Jatropha curcas* L. after different imbibition times” en la revista Peruvian Journal of Agronomy (Lozano-Isla et al., [2017](#ref-lozano-isla2017Germination)).

# Redacción de documentos científicos

de Mendiburu, F. (2020). *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Kamoun, S. (2013). *GOHREP - How to plan and manage a research project*. <https://kamounlab.dreamhosters.com/pdfs/GOHREP.pdf>

Lozano-Isla, F., Miranda, P., & Pompelli, M. F. (2017). Germination behavior of *Jatropha* *curcas* L. After different imbibition times. *Peruvian Journal of Agronomy*, *1*(1), 32–38. <https://doi.org/10.21704/pja.v1i1.1065>

R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>