



Universidad Nacional Experimental del Táchira

Vicerectorado Académico

Decanato de Docencia

Departamento de Ingeniería en Informática

Trabajo de aplicación profesional

Proyecto especial de grado

CLASIFICACIÓN DE TUBERCULOS DE PAPA CRIOLLA PARA DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA  
EMPLEANDO REDES NEURONALES PROBABILISTICAS.

Autor(es): Jesús David Escalante Rodríguez

C.I.: 21.220.841

jesusd.escalante@unet.edu.ve

Tutor(es): Rossana Timaure

rttg@unet.edu.ve

San Cristóbal, Julio.2018



Universidad Nacional Experimental del Táchira  
Vicerrectorado Académico  
Decanato de Docencia  
Departamento de Ingeniería Informática  
Trabajo de Aplicación Profesional  
Proyecto Especial de Grado

**Aprobación del Tutor para presentación de la Propuesta del Proyecto Especial de  
Grado**

Yo, Rossana Timaure titular de la cédula de identidad No. V-12.021.405. en mi carácter de Tutor(a) del Proyecto Especial de Grado titulado: , presentado por el bachiller: Jesús David Escalante Rodríguez, titular de la cédula de identidad No. 21.220.841, por medio de la presente autorizo la presentación de la Propuesta de Proyecto Especial de Grado ante los jurados designados por la comisión de Trabajo de Aplicación Profesional del Departamento de Ingeniería en Informática, en virtud de considerar que reúne los requisitos establecidos en el artículo 16 de las Normas para el Trabajo de Aplicación Profesional de la UNET.

Nombres y apellidos del tutor  
C.I. V- 12.021.405  
Rossana Timaure

# Introducción

La producción de papa criolla (*Solanum Phureja*), colombiana o yema de huevo como también es conocida, siempre ha tenido muchos desafíos por parte de la industria, debido a los grandes intereses provenientes de los diferentes consumidores que la misma posee, siendo así que es uno de los productos agrícolas más consumidos y con mayor importancia en el mundo, después del arroz, maíz y trigo. Colombia es el mayor productor de papa criolla en Latinoamérica y por lo cual es un país que posee grandes exigencias industriales de la misma (Ligarreto *et al*, 2003).

Los tubérculos de papa criolla tienen aproximadamente entre dos y ocho centímetros (2-8cm), y se pueden clasificar en tres calibres según su diámetro promedio de donde radican los intereses comerciales de la misma. Los tubérculos de entre dos y medio y cuatro centímetros son preferidos para encurtidos y pre-cocidos mientras los tubérculos promedio entre cuatro y seis y medio centímetros son preferidos para frituras en hojuelas o con más de cinco centímetros para frituras en tiras (CORPOICA, 2009).

El crecimiento vegetal es definido por Cabezas en 2005 como «El aumento irreversible del tamaño y peso seco de las plantas (altura, área foliar, diámetro, número de células y cantidad de protoplasma) o los cambios que ocurren en una planta o población de plantas a través del tiempo, fenómeno acompañado del aumento en la complejidad estructural metabólica del organismo (diferenciación celular, número de hojas), por procesos de división y alargamiento celular, incorporación de materia y energía del ambiente (fotosíntesis, absorción de agua y de iones) y metabolización subsiguiente, la cual se traduce en multiplicación y diferenciación celular. Este proceso está íntimamente relacionado con algunos factores internos como fotosíntesis, respiración, transpiración, condiciones de estrés, concentración enzimática, balance hormonal y expresión genética» (Pineros, 2009).

En la papa son dos los procesos fisiológicos asociados directamente al rendimiento de la misma,

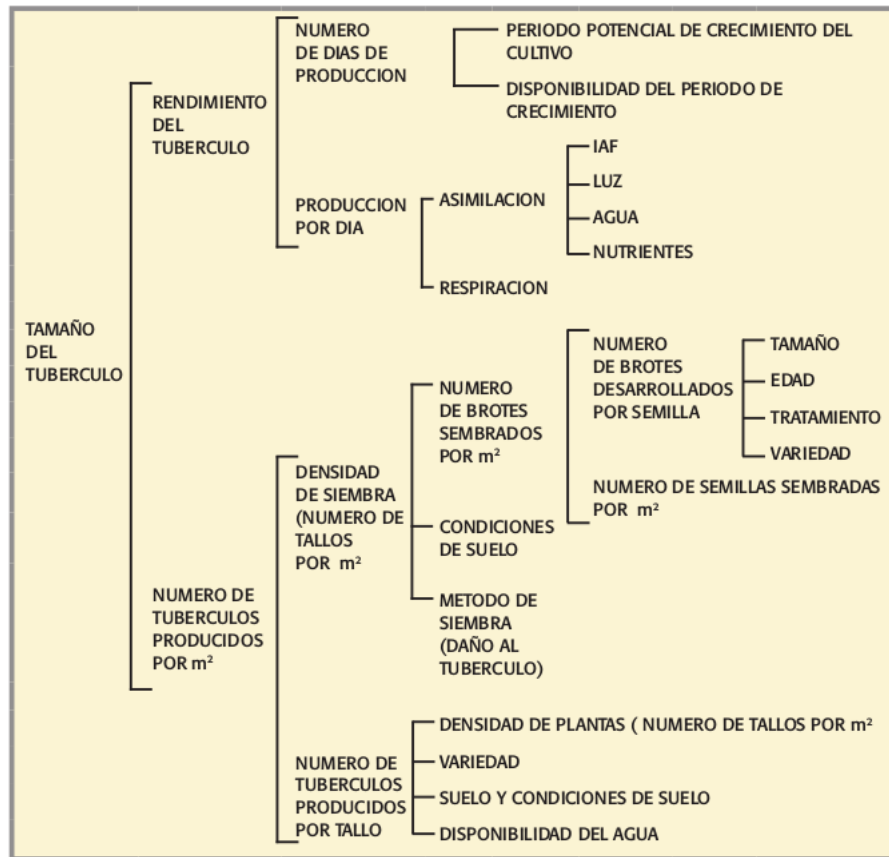
la fotosíntesis y la respiración. Y estos dos son procesos íntimamente asociados, ya que durante la fotosíntesis se producen carbohidratos que son consumidos durante la respiración, pero una gran cantidad de estos carbohidratos contribuyen al proceso de producción incrementando el tamaño de los tubérculos, el nivel y periodo de crecimiento de los tubérculos es una variable que responde directamente a la expresión de rendimiento expresada como producción por día, siendo así que cerca de un noventa por ciento (90 %) del peso acumulado de los tubérculos producidos por una planta es producto de la asimilación de dióxido de carbono, así como otros procesos similares (Beukema, 1979). Sin embargo, estos procesos se ven afectados por condiciones externas tales como la intensidad de luz, temperatura, longitud de los días, condiciones del suelo que son variables no controladas, o por condiciones como la cantidad de riego, fertilizantes aplicados y productos de abono para la mejora de los suelos que son variables controlables pero que requieren de costos adicionales de producción (Píneros, 2009). Y es por ello que se sigue buscando con el manejo de variables controladas el control sobre la cantidad total producida y tamaño de los tubérculos sin producir costos adicionales, siendo la densidad de siembra una de estas variables, en la cual nos enfocaremos en esta investigación (Bernal, 2017).

Las variables que influyen en el rendimiento de la papa pueden ser observados en la figura 1. Pag.3.

Sin embargo la densidad de siembra es una variable de tipo espacial, ya que se define como la distancia entre plantas y entre linderas, siendo así una coordenada en X y una coordenada en Y en un plano cartesiano, por lo cual un estudio estadístico de la misma para clasificar o predecir un modelo no puede ser del tipo de regresión lineal o de un análisis de varianza debido a los residuales que deben ser independientes en cada punto, no tomando en cuenta una relación entre vecinos como si ocurre en los cultivos de papa, las plantas compiten por los recursos y por consiguiente por producir más, haciendo así los residuales dependientes y así mismo no optimiza la aplicación de dichos análisis (Píneros, 2009).

Se plantea el uso de regresión espacial entonces, pero el manejo de la densidad de siembra como variable es del tipo cualitativo con un valor de distancia entre linderos y plantas fijo para una cantidad de densidades definidas, implicando tener que aplicar regresión espacial para cada uno de los valores de estas densidades. Sin embargo aunque estos análisis me arrojen resultados con un comportamiento y una distribución estadística similar, no se puede asegurar una relación entre cada una de las densidades definidas basados en una normalización n-variante, donde n sería el número de densidades definidas. Por ello se propone en esta investigación el uso de una red

Figura 1: Variables de influencia sobre el rendimiento de Solanum Phureja.



neuronal probabilística (PNN) donde no importan los supuestos y definiciones de un modelo lineal.

Una red neuronal artificial (ANN) es un conjunto de nodos de un programa (neuronas) interconectados entre si, simulando el proceso de pensamiento humano, se pudiera considerar como una caja negra entrenada previamente para esperar una entrada y basado en las características o comportamiento de la misma proporcionar una determinada salida, eliminando así la necesidad de diferentes algoritmos que deban analizar comportamientos cada uno por separado. Una red neuronal probabilística (PNN) no es mas que una ANN que usa funciones estadísticas que escalan la variable no linealmente como una forma de campana o una distribución normal (Stephen, 2007).

El objetivo de esta investigación es construir un clasificador de densidades de siembra a través de una red neuronal probabilística, además de comparar los resultados provenientes de una regresión espacial versus datos observados, para concluir cuan efectivo puede ser aplicar una regresión espacial para estos casos.



# Capítulo 1

## Preliminares

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

Una red neuronal artificial (ANN) es un modelo que crea una relacion entre una configuracion de senales de entrada y una senal de salida usando un modelo derivado de nuestro entendimiento de como el cerebro responde a determinados estímulos de entradas sensoriales. Así como un cerebro usa ese conjunto de células interconectadas llamadas neuronas, así las ANN usan una red de neuronal artificiales o nodos para solucionar problemas aprendidos (Lantz, 2015).

En general, las ANN son aprendices versátiles que pueden ser aplicarse a casi cualquier tarea de aprendizaje en cualquier contexto, clasificación, predicción, reconocimiento de patrones e incluso pudiéramos hablar de tareas de supervisión de procesos. Las ANN, se aplican mejor a los problemas cuyos datos de entrada y salida son bien definidos o bastante simples, sin embargo el proceso que relaciona la entrada con una determinada salida es en extremo complejo, por eso se conocen como un método de caja negra (Lantz, 2015).

De una manera muy arcaica, las ANN han sido usadas desde hace cincuenta años para simular como el cerebro humano es capaz de resolver problemas. Primero surgieron las simples funciones lógicas AND y OR, que ayudaron a los científicos a entender como biológicamente el cerebro opera. Sin embargo, como el avance tecnológico y computacional ha sido incrementado y continua creciendo potencialmente durante los últimos años, las ANN ha incrementado su complejidad siendo usadas frecuentemente en múltiples problemas como:

1. Programas de reconocimiento de voz y escritura, como los que usan los correo de voz de los servicios de transcripción y máquinas clasificadoras de correo postal.

2. La automatización de dispositivos inteligentes como los controles ambientales de un edificio de oficinas o automóviles autoguiados y drones autoguiados.
3. Modelos sofisticados de patrones climáticos y otros fenómenos científicos, sociales o económicos.
4. La clasificación y reconocimiento de cualquier cosa, basado en sus atributos y características.

Existen muchos métodos y lenguajes que permiten la estructuración y desarrollo de ANN, destacándose lenguajes como Python y softwares como Statgraphics y SPSS, sin embargo como el objetivo de esta investigación es trabajar con una variable de tipo espacial que amerita la aplicación de regresión espacial antes para la normalización de los datos recogidos y observados, se propone el uso del lenguaje R con el paquete *neuralnet* para el manejo y construcción de la red neuronal.

R es un lenguaje de programación y entornos para gráficos y cálculos estadísticos, es una implementación diferente al lenguaje S (Chambers, 1998), y se desarrolla bajo un proyecto de software bajo Licencia Pública General (General Public License, GNU) de la Free Software Foundation (<https://www.fsf.org/>) en forma de código fuente. Se compila y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas entre ellas FreeBSD, Linux, Windows y MacOS. (The R Project for Statistical Computing, 2018).

El paquete *neuralnet* es un paquete del lenguaje R de muy sencilla utilización que permite la aplicación, visualización e implementación de redes neuronales. El paquete permite configuraciones flexibles a través de elección personalizada del error y función de activación. Además, el cálculo de pesos generalizados está implementado (CRAN-R Project, 2016).

Esta propuesta permitirá ajustar y entrenar una red neuronal artificial probabilística que permita la clasificación de densidades de siembra de papa yema de huevo (*Solanum Phureja*) teniendo como entrada las siguientes variables:

1. **Peso total del cultivo.** Variable cuantitativa expresada en gramos (gr), que indica el peso de todos los tubérculos recogidos en la siembra.
2. **Total de tubérculos recogidos.** Variable cuantitativa que indica el número de tubérculos recogidos en la siembra.



3. **Diametro ponderado de todos los tuberculos.** Variable cuantitativa expresada en centimetros (cm), que indica el calculo del diametro ponderado (por los tuberculos ser ovoides) de cada tuberculo recogido en la siembra.
4. **Calibre de los tuberculos recogidos.** Variable cualitativa, con 4 valores posibles que definen a que calibre pertenece un tuberculo. Siendo los calibres divididos en tuberculos menores a dos centimetros ( $<2\text{cm}$ ), entre dos y cuatro centimetros ( $2-4\text{cm}$ ), entre cuatro y seis centimetros ( $4-6\text{cm}$ ) y mayores a seis centimetros ( $>6\text{cm}$ ).

La densidad de siembra es la distancia entre plantas y leras o sencillamente cuantas plantas son sembradas por metro cuadrado de siembra.

El objetivo es comparar los resultados de clasificacion alimentando la red con datos observados y con los mismos datos normalizados espacialmente a traves de regresion espacial, para observar si es necesario el analisis de los datos recogidos antes de la clasificacion y a su vez concluir hasta que punto la densidad de siembra afecta las variables antes mencionadas. Otra de las pruebas que se plantea usar en esta investigacion es realizar los analisis eliminando variables de entrada atisbando cuales variables permiten y generan una mejor clasificacion.

La curva ROC es una herramienta estadistica utilizada en analisis de clasificacion para determinar la capacidad discriminante de una prueba diagnostica dicotomica. Esta capacidad discriminante esta sujeta al valor umbral elegido de entre todos los posibles resultados de la variable de decision, es decir, la variable por cuyo resultado se clasifica (en nuestro caso la densidad de siembra) en un determinado grupo. La curva es el grafico resultante de representar, para cada valor umbral, las medidas de sensibilidad y especificidad de la prueba diagnostica (Benavides, SF).

Posterior a las diversas clasificaciones planteadas, se propone la construccion en lenguaje R de las curvas ROC correspondientes para determinar cuan optima es la clasificacion resultante, permitiendo asi llegar a las conclusiones deseadas.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Clasificar tuberculos de papa criolla para diferentes densidades de siembra empleando redes neuronales probabilisticas.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un algoritmo que permita realizar el estudio de regresión espacial a los datos de entrada de cultivo de papa criolla.
- Implementar y entrenar una red neuronal artificial probabilística que permita la clasificación de tubérculos de papa para diferentes densidades de siembra.
- Conseguir a través de curvas ROC una clasificación óptima de tubérculos de papa para diferentes densidades de siembra para diferentes casos de prueba.

## 1.3. Justificación e Importancia

Colombia es el mayor productor, consumidor y exportador de papas diploides en el mundo; tiene una ventaja competitiva notable debido a ser centro de diversidad y poseer gran aceptación por los consumidores debido a las características del tubérculo. Adicionalmente, en este país se ha desarrollado una amplia tradición como cultivo tecnificado, con potencial de industrialización y exportación (Rodríguez *et al*, 2009). Además de contar con uno de los recursos genéticos que ofrece las mayores oportunidades de exportación como alimento procesado exclusivo y sin competencia. Desafortunadamente, muchas de las estrategias de manejo del cultivo de la papa, han sido adaptadas a papa criolla, creando un sistema productivo poco eficiente (Piñeros, 2009). Los altos precios de los insumos agrícolas y el mal manejo de los cultivos agrónomicamente provoca baja productividad y amenaza la competitividad del sistema de producción, por lo que es importante identificar factores limitantes del rendimiento y desarrollar prácticas innovadoras para el cultivo, tales como una gestión nutricional integrada y equilibrada, que es una de las prácticas más eficientes para garantizar a la planta la oportunidad de expresar su potencial genético que eventualmente se reflejara en una mejor calidad y rendimiento (Lopez *et al*, 2014).

Varias investigaciones revelan que el tamaño promedio de los tubérculos, su variabilidad y su conteo, definen una única distribución, presentando mayor variabilidad de rangos de tamaño en la etapa final de llenado, con aumento del rendimiento de los mayores tamaños por cuenta de los tamaños inferiores, lo que sugiere que un tubérculo que pasa de un calibre inferior al siguiente, no es sustituido por otro de calibre anterior, además, parece existir una correlación negativa entre la variabilidad relativa del tamaño del tubérculo y el número de tubérculos por unidad de área (Struik, 1991). Es importante reconocer, que debe tenerse cuidado con la interpretación de esta correlación, pues hasta cierto punto, la naturaleza de los datos asociados al número de tubérculos por planta

podiera ser similar a la de los datos composicionales, es decir, si un componente aumenta, el otro esta forzado a disminuir, lo que genera correlaciones sin conexion logica en datos verdaderamente composicionales, sin embargo, el numero de tuberculos por calibre no suma una constante, pudiera ocurrir que su maximo posea una distribucion especifica, entonces una mayor cantidad de tuberculos de un calibre podria provocar un numero menor de tuberculos en otro calibre especifico, lo que en esencia puede generar correlaciones en las que debe tenerse mucho cuidado al momento de su interpretacion. La importancia del cultivo obliga a muchos investigadores a realizar diferentes estudios para mejorarlo segun el uso que vaya a darse a los tuberculos, generando nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades y de facil adaptacion a diferentes climas, procurando hacer uso del espacio de siembra de forma optima, por lo que varios estudios evidencian el estudio de la densidad de siembra para evaluar sobre todo el rendimiento. En 2017, Bernal evaluo en lugar del rendimiento, un indicador que se asocia directamente como lo es el calibre de los tuberculos, los cuales en la practica se manipulan en cuatro categorias de diametro promedio (hasta 2 cm, de 2 a 4 cm, de 4 a 6 cm y más de 6 cm). La naturaleza de esta variable imposibilita usualmente la comparacion de la respuesta (conteos de tubérculos) para cada densidad de siembra (definidas como 30cm\*100cm, 40cm\*100cm y 50cm\*100cm) mediante analisis de varianza, pues en el caso de conteos, otras distribuciones como la Poisson y la Binomial negativa se adaptan mucho mejor al tipo de dato generado. Los modelos clasicos de regresion Poisson y binomial y negativa, en sus modalidades usuales o en la opción inflada por ceros (Cameron, 1998) en datos de conteo pertenecen a la familia de modelos lineales generalizados (Zeileis, 2008) y los desarrollos recientes permiten generar varias estadisticas que permiten su comparacion con sus contrapartes sin ceros en exceso, lo que resulta util en la eleccion del mejor modelo para relacionar predictores y respuesta en conteos.

Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora son todos haciendo suposiciones del tipo lineal y haciendo modificaciones que permitan asi su estudio a traves de anova o regresion lineal tomando en cuenta los patrones de vecindad, mas la propuesta consiste en clasificar los datos a traves de una red neuronal que no amerita de suposiciones estadisticas o matematicas, que solo aprendiendo de lo observado es capaz de realizar una clasificacion de densidades de siembra, anadiendo aun asi para conseguir un mejor resultado un analisis de regresion espacial previo, con el objetivo de solo con datos de siembra previos conocer a que densidad de siembra se debe cosechar para obtener un deseado calibre para fines comerciales e industriales.

## 1.4. Alcance y Limitaciones

La red neuronal artificial probabilística a implementar tiene como propósito la clasificación de la densidad de siembra en papa criolla o yema de huevo, siendo útil para incrementar las posibilidades de obtener un determinado y deseado calibre de tubérculos conociendo la densidad a la que se debe sembrar, añadiendo también para su optimización análisis de regresión espacial y un conjunto de pruebas que van desde la variación de las variables de entrada hasta la utilización de los datos observados, para definir qué tan buena o no es la clasificación. Sin embargo las pruebas se realizarán bajo solo un conjunto de datos reales que fueron tomados bajo las medidas de cuatro calibres de tubérculos y tres densidades de siembra.

Los datos disponibles del cultivo de papa se tienen en base a tres densidades de siembra, cantidad de plantas sembradas, cantidad de tubérculos recogidos, peso total del cultivo, diámetro ponderado de cada tubérculo y calibre de los tubérculos y forman parte de la investigación de Maestría del estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, Nelson Bernal.

Los resultados de las pruebas sobre los escenarios planteados serán validados estadísticamente con ayuda del análisis de las curvas ROC generados por estos mismos resultados.

# Capítulo 2

## Fundamentos teóricos

### 2.1. Antecedentes

La clasificacion por medio de redes neuronales ha sido un hito ya marcado en el campo agromico, muchos estudios se han realizado con el objetivo de analizar ciertos comportamientos de plantas y los beneficios que se puedan sacar de ellas. En 2011, el grupo de investigacion de sistemas de procesamiento y control de senales de la Universidad Nacional Tenaga de Malasia desarrollo un sistema de inteligencia con un enfoque novedoso para la clasificacion de frutas usando tecnicas de procesamiento de imagenes digitales y redes neuronales artificiales, con el objetivo de desarrollar un metodo de clasificacion rapido con una meta del 100 % de eficiencia. El estudio se realizo con cinco frutas, manzanas, platanos, zanahorias, mangos y naranjas, extrayendo de ellas siete características en funcion de la forma y el color. La captura de las imagenes se realizo con una camara digital convencional y las manipulaciones a los datos y construccion de la red con el software MATLAB. Los resultados obtenidos durante esta investigacion fueron de gran avance en el campo de reconocimiento de patrones en imagenes.

En 2011, Mayabiro E presento en la Universidad Nacional Experimental del Tachira, un prototipo sobre el entorno MATLAB para el calculo de la tasa de germinacion de plantulas de pimenton previamente segmentadas. El entorno desarrollado permitia establecer una clasificacion de las plantulas, hojas u objetos de la misma por medio de redes neuronales. Se realizo el entrenamiento de multiples redes neuronales multicapas con algoritmos de retropropagacion, donde aunque variaban las capas intermedias de las redes y sus funciones de transferencia fueron entrenadas con los mismos datos de entrada, validandolas con una base de datos de pruebas para seleccionar al final una con salidas similares a las deseadas.

Otro estudio realizado en 2013 por Stephen Gang Wu consistia en el estudio teorico de tecnicas de procesamiento de imagenes y datos para el reconocimiento automatico de hojas para la clasificacion de plantas. Doce caracteristicas de las plantas fueron extraidos y distribuidas en cinco variables principales que constituian el vector de entrada de una red neuronal artificial probalistica, que habia sido entrenada con 1800 hojas para clasificar 32 tipos de plantas con una precision superior al 90 %, el autor aseguraba que su metodologia de implementacion de la PNN era facil y rapida en comparacion de otras investigaciones similares.

En 2017, Bernal N realizo un estudio de campo con el cultivo de papa criolla para evaluar la influencia de la densidad de siembra asociada a distancias entre plantas de 30,40 y 50 cm y distancias entre surcos de 100 cm sobre el conteo de tuberculos de calibres inferiores a 2 cm, entre 2 y 4 cm, entre 4 y 6 cm, y de mas de 6 cm de diametro ponderado y sobre el peso fresco en gramos de los tuberculos. Los tuberculos cosechados se clasificaron y contaron mediante tamizado y se pesaron en su totalidad sin discriminar por calibre. Los modelos estadisticos empleados para modelar el comportamiento de la cosecha, evidenciaron el efecto significativo de la densidad de siembra sobre el conteo de tuberculos y calibre y se observo una razon aproximada de 40:40:20:1 desde el calibre menor al mayor. El efecto de la competicion, en todos los modelos probados resulto significativo, aumentando en la mayoria de los casos a medida que disminuia la distancia entre plantas, tanto en el patron de vecindad intrahileras como en el caso de inter e intrahileras.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Regresión Espacial.**

El análisis exploratorio de datos espaciales - AEDE, constituye una disciplina reciente que ha adquirido una especial importancia debido principalmente al avance de la tecnología en las comunicaciones y la globalización de la economía. Los sucesos que ocurren en una ubicación específica tienen repercusiones sobre sus vecinos directos e incluso sobre otros, aparentemente remotos.

En el estudio de cualquier fenómeno de carácter social o económico la ubicación geográfica de los agentes constituye un aspecto importante dentro de la especificación de los modelos econométricos, ya que puede existir algún efecto espacial, que de no ser incorporado en la especificación, podría afectar la validez del modelo. Ante esta realidad y gracias al desarrollo tecnológico de los sistemas de georreferenciación de datos, surge la necesidad de contar con herramientas apropiadas para

el procesamiento, descripción y análisis de la información ya que los métodos tradicionales de la estadística descriptiva no tienen en cuenta la localización geográfica de los datos.

Teniendo en cuenta que la econometría tradicional no ha incorporado el efecto de dichas circunstancias y que la estadística espacial se ocupa de otro tipo de problemas, ha surgido una disciplina a la cual se le ha dado el nombre de econometría espacial. Según Luc Anselin, uno de sus principales investigadores, “las actividades como la estimación de modelos espaciales de interacción, el análisis estadístico de la función de densidad urbana y la implementación empírica de modelos econométricos regionales, podrían ser considerados econometría espacial” (Anselin, 1988).

Cuando se tienen observaciones georreferenciadas, se deben utilizar herramientas que permitan detectar ciertas características dentro de los datos, como son tendencia, valores atípicos, esquemas de asociación y dependencia espacial, concentración espacial o puntos calientes/fríos, entre otros. Aunque en la actualidad se tiene gran cantidad de información georreferenciada, estos datos suelen ser tratados con herramientas del análisis de series temporales (o de corte transversal, no espacial), sin usar técnicas adecuadas para el análisis estadístico espacial. Los métodos que permiten extraer dichas características de los datos georreferenciados se conocen con el nombre de análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) y se conciben como una disciplina dentro del análisis estadístico más general, diseñada para el tratamiento específico de los datos geográficos. El AEDE se utiliza para identificar relaciones sistemáticas entre variables, o dentro de una misma variable, cuando no existe un conocimiento claro sobre su distribución en el espacio geográfico (Chasco Yrigoyen, 2006).

### **2.2.2. Redes Neuronales Artificiales.**

Entre las definiciones más recientes de inteligencia artificial se expresa, en forma general, la inteligencia artificial como la capacidad que tienen las máquinas para realizar tareas que en el momento son realizadas por seres humanos; otros autores como Nebendah (1988) y Delgado (1998) dan definiciones más completas y las definen como el campo de estudio que se enfoca en la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales basados en la experiencia y el conocimiento continuo del ambiente. Autores como Marr (1977), Mompin (1987), Rolston (1992), en sus definiciones involucran los términos de soluciones a problemas muy complejos.

El nacimiento de la inteligencia artificial se sitúa en los años cincuenta; en esa fecha la informáti-

ca apenas se había desarrollado, y ya se planteaba la posibilidad de diseñar máquinas inteligentes. Hoy en día se habla de vida artificial, algoritmos genéticos, computación molecular o redes neuronales. En algunas de estas ramas los resultados teóricos van muy por encima de las realizaciones prácticas.

A través de los años, se han utilizado diversas técnicas de inteligencia artificial para emular 'comportamientos inteligentes'. Al software que hace uso de dichas técnicas se le denomina, de forma genérica, 'sistema inteligente', y es cada vez más amplia la gama de aplicaciones financieras donde incide la inteligencia artificial.

Un ejemplo de esto es que al usarse una tarjeta de crédito, suelen acumularse datos sobre patrones de consumo que después se venderán a diversas empresas. Sobre la base de los pagos efectuados en dicha tarjeta de crédito, los bancos e instituciones de crédito irán elaborando un historial del usuario, el cual se utilizará para autorizar una transacción, para decidir cuándo extender el crédito y para detectar fraudes. Este tipo de procesos requiere de chequeos que suelen resultar bastante complejos, además del uso de criterios variables para poder tomar una decisión final en torno a la autorización de una cierta transacción. Claro que, al manejar enormes volúmenes de información, como los aproximadamente 16 millones de transacciones que Visa Internacional debe verificar diariamente, no resulta nada fácil poder detectar un fraude. Aunque es evidente la necesidad de automatizar procesos como éste, no es del todo obvio incorporar el comportamiento inteligente del ser humano a un programa de computadora que reemplace a un evaluador humano, ya que los sistemas de inteligencia artificial se toman como herramientas de apoyo analítico para el evaluador, mas no como una unidad autosuficiente que por sí sola pueda tomar decisiones.

Las redes neuronales artificiales son eficientes en tareas tales como el reconocimiento de patrones, problemas de optimización o clasificación, y se pueden integrar en un sistema de ayuda a la toma de decisiones, pero no son una panacea capaz de resolver todos los problemas: todo lo contrario, son modelos muy especializados que pueden aplicarse en dominios muy concretos.

Las redes neuronales emulan la estructura y el comportamiento del cerebro, utilizando los procesos de aprendizaje para buscar una solución a diferentes problemas; son un conjunto de algoritmos matemáticos que encuentran las relaciones no lineales entre conjuntos de datos; suelen ser utilizadas como herramientas para la predicción de tendencias y como clasificadoras de conjuntos de datos. Se denominan neuronales porque están basadas en el funcionamiento de una neurona biológica cuando procesa información.



### 2.2.3. Curvas ROC.

Una amplia gama de tests diagnósticos reportan sus resultados cuantitativamente, utilizando escalas continuas. El análisis de curvas ROC (receiver operating characteristic curve) constituye un método estadístico para determinar la exactitud diagnóstica de estos tests, siendo utilizadas con tres propósitos específicos: determinar el punto de corte de una escala continua en el que se alcanza la sensibilidad y especificidad más alta, evaluar la capacidad discriminativa del test diagnóstico y comparar la capacidad discriminativa de dos o más tests diagnósticos que expresan sus resultados como escalas continuas.

### 2.2.4. Lenguaje R.

R es un conjunto integrado de *software* de código abierto para el almacenamiento, manipulación, cálculo y visualización de datos para computación y gráfica estadística, puede ser compilado y ejecutado en Windows, Mac OS X y otras plataformas UNIX (como Linux), se distribuye usualmente en formato binario (<https://www.r-project.org/about.html>, 2018). El proyecto de *software* R fue iniciado por Robert Gentleman y Ross Ihaka. El lenguaje fue influenciado por lenguaje S desarrollado originalmente en Bell Laboratories por John Chambers y sus colegas. Desde entonces ha evolucionado para el cálculo estadístico asociado a diversas disciplinas para contextos académicos y comerciales. En R, la unidad fundamental de código compartible es el paquete, el cual agrupa código, datos, documentación y pruebas, y resulta simple de compartir con otros. Para enero del 2015 ya habían más de 6.000 paquetes disponibles en la Red Integral de Archivos de R, conocido comunmente por su acrónimo CRAN, el cual es el repositorio de paquetes . Esta gran variedad de paquetes es una de las razones por las cuales R es tan exitoso, pues es probable que algún investigador o académico ya haya resuelto un problema en su propio campo usando esta herramienta, por lo que otros usuarios simplemente podrán recurrir a ella para su uso directo o para llamarla en un nuevo código (Wickham,2015).

### 2.2.5. RStudio.

RStudio es un ambiente de desarrollo integrado (*Integrated Development Environment*, IDE) que ofrece herramientas de desarrollo vía consola, editor de sintaxis que apoya la ejecución de código, así como herramientas para el trazado, la depuración y la gestión del espacio de trabajo. RStudio está disponible para Windows, Mac y Linux o para navegadores conectados a RStudio Server o RStudio Server Pro (Debian / Ubuntu, RedHat / CentOS, y SUSE Linux)

(<https://www.rstudio.com/about/>, 2018).

# Capítulo 3

## Fundamentos Metodológicos

A continuación se plantea la estructura a seguir por el presente trabajo, detallando el enfoque, tipo, nivel y diseño de la investigación y la metodología a implementar entre otros.

### 3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrollará siguiendo un enfoque cuantitativo, puesto que, como lo indican Pallela y Martins (2012) , “la investigación cuantitativa requiere el uso de instrumentos de medición y comparación, que proporcionan datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos, el conocimiento está basado en hechos”. Los datos a usar en el desarrollo de este trabajo investigativo fueron recolectados directamente de un cultivo y forman parte de la investigación de Maestría del estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, Nelson Bernal.

### 3.2. Tipo o nivel de investigación

Este proyecto plantea un tipo de investigación de campo, según como lo indican Pallela y Martins (2012), la investigación de campo “consiste en la recolección directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables” ya que permite indagar los efectos de la interrelación entre los diferentes tipos de variable en lugar de los hechos.

En este punto se debe determinar la profundidad que abarca esta investigación, teniendo en cuenta que de acuerdo con el nivel de la investigación es definido como “grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (Arias, 2012).

En este sentido, se tiene que dadas las características del proyecto, se asocia con un nivel descriptivo, tal como lo indican Pallela y Martins (2012), “hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente” esto debido a que se medirán los datos extraídos sin alterarlos para ser mostrados en el sistema.

Cuando se habla de un nivel descriptivo junto con una investigación de tipo de campo, en ella no se formulan hipótesis y las variables se enuncian en los objetivos de la investigación que se desarrollará.

### **3.3. Diseño de la investigación**

Según Arias(2012), el diseño de la investigación es “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p.21) por lo que es vital establecer una correcta secuencia de pasos para elaborar el prototipo de software que dará solución a la problemática principal de la investigación.

Con este enfoque, se tiene que este trabajo seguirá un diseño no experimental, enfocado en el uso de información existente, de acuerdo con lo dicho por Pallela y Martins (2012) al definir el diseño no experimental como:

Es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, este diseño no se construye una situación específica sino que se observan las que existen. Las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, lo que impide influir sobre ellas para modificarlas. (p.81)

Esto indica que no hay manipulación de variables. Esta investigación presenta una modalidad de proyecto especial que, como lo indican Pallela y Martins (2012), los proyectos especiales “destinados a la creación de productos que puedan solucionar deficiencias evidenciadas, se caracterizan por su valor innovador y aporte significativo” (p.92), ya que se creará un *software* aplicable al área de estudio.

### **3.4. Metodología**

Los pasos a seguir en el desarrollo de esta investigación serán descritos a continuación siendo basados en los antecedentes y estudios realizados.

#### **Explorar y manipular la data.**

Los datos tomados de la investigación de Bernal, son datos reales observados de un cultivo de tubérculos de papa criolla que no han sido tratados estadísticamente o modelados, es por eso que en esta etapa se diseñará un algoritmo para la carga de los mismos en estructuras de datos en R, para luego ser modelados y analizados espacialmente por medio de regresión espacial y probando de igual forma su normalización bivariante.

#### **Diseñar y entrenar la red neuronal probabilística.**

En esta etapa se definirán las variables de entrada y se declararán las neuronas patrones y las clases de salida que permitan la clasificación, para proceder con el entrenamiento de la red que se hará a través del método de jackknifing para determinar el parámetro de escalamiento correcto que permita la mejor clasificación.

#### **Implementar y realizar pruebas de clasificación.**

El objetivo de esta etapa es definir los casos de prueba que serán usados para buscar la mejor clasificación de densidad de siembra de tubérculos de papa criolla y realizar las pruebas con los diferentes escenarios a preparar.

#### **Comparación de resultados.**

En este paso se procederá a la construcción de las curvas ROC asociadas a los casos de prueba planteados para así obtener las mejores clasificaciones, permitiendo concluir las mejores relaciones entre variables, el mejor manejo de los datos y si los mismos deben ser modelados o es suficientemente buena una clasificación con datos observados a pesar de la dependencia espacial existente.

#### **Graficar y documentar resultados.**

Finalmente se procedera a la graficacion por medio de R de los resultados, que sustenten las conclusiones realizadas y a relizar la documentacion que permita el uso de esta investigacion en futuras aplicaciones de campo.

### 3.5. Aspectos administrativos

La realización de la investigación será planificada según lo establecido en el siguiente diagrama:

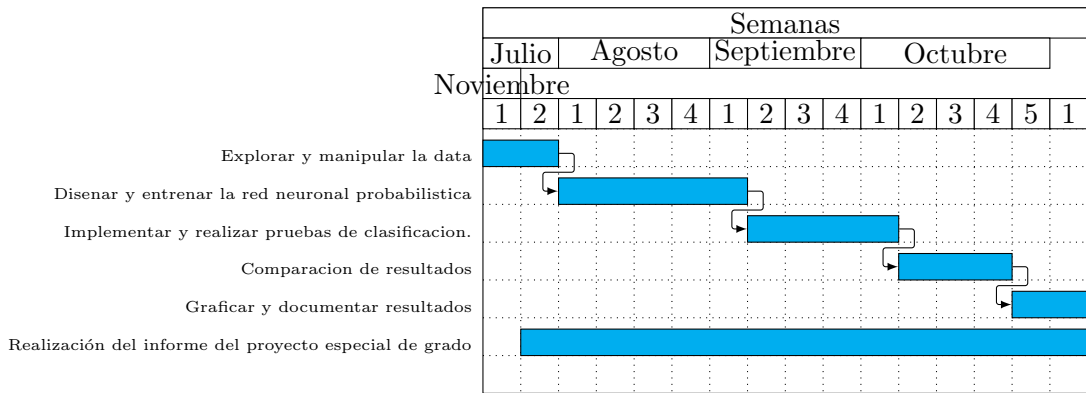


Figura 3.1: Diagrama de Gantt con la planificación del proyecto especial de grado

# Referencias Bibliográficas

Available CRAN Packages By Name. Disponible en:[https://cran.r-project.org/web/packages/available\\_packages\\_by\\_name.html](https://cran.r-project.org/web/packages/available_packages_by_name.html). Consultada Junio 2018.

Lanz Brett, Reino Unido. Machine Learning with R. 2015.

Bohorquez Ingrid, Ceballos Ermilson. Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. 2008.

Stephen Gang Wu, Forrest Sheng Bao, Eric You Xu, Yu-Xuan Wang, Yi-Fan Chang, Qiao-Liang Xiang. A Leaf Recognition Algorithm for Plant Classification Using Probabilistic Neural Network. 2007.

Nur Badariah Ahmad Mustafa, Kumutha Arumugam, Syed Khaleel Ahmed, Zainul Abidin Md Sharif. Classification of Fruits using Probabilistic Neural Networks - Improvement using Color Features. 2011.

Bernal Nelson. Modelado del Calibre y la competición intra-específica por rendimiento de tubérculos de papa variedad Solanum phureja bajo diferentes densidades de siembra. 2017.