

Modelado analítico predictivo para la prevención de enfermedades agrícolas

analytical modeling for the prevention of agricultural diseases

Modelagem analítica preditiva para prevenção de doenças agrícolas

Marlene Raquel Paredes¹, Miguel Arturo Valle Pelaez¹, María Pérez Campomanes¹,
Confesor Saavedra Quezada¹, Kennedy Johnson Gutierrez Mendoza¹

Resumen

La investigación se realizó en el campo experimental San Luis, en Nuevo Chimbote. El propósito fue contar con información para la prevención del hielito (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando datos de la estación meteorológica con que cuenta la USP, específicamente la escuela de ingeniería agrónoma. Se trabajó en dos parcelas divididas de 2000 m² donde se realizó el manejo agronómico del cultivo de papa; en una de las parcelas se aplicó la información que brinda la estación meteorológica, y en la otra parcela se desarrolló el trabajo de manera artesanal, según el conocimiento de los agricultores. Se logró desarrollar un Sistema Informático basado en alertas, el cual nos indicó con exactitud en qué momento se deben realizar las aplicaciones de químicos, según sean las condiciones apropiadas para la multiplicación del hongo (*Phytophthora infestans*) y así mismo se cuenta con mensajes de advertencia para que el productor pueda programar su manejo de control de la enfermedad.

Palabras clave: Modelado analítico predictivo, prevención, enfermedades agrícolas.

Abstract

The research was conducted in the experimental field San Luis, in Nuevo Chimbote. The purpose was to have information for the prevention of ice (*Phytophthora infestans*) in the potato crop (*Solanum tuberosum*) using data from the meteorological station that the USP counts, specifically the agronomic engineering school. We worked in two divided plots of 2000 m² where the agronomic management of the potato crop was carried out, in one of the plots the information provided by the meteorological station was applied, and in the other plot the work was developed in a traditional way, according to the knowledge of farmers. It was possible to develop a computer system based on alerts, which tells us exactly when chemical applications should be made, depending on the conditions for the multiplication of the fungus (*Phytophthora infestans*) and likewise warning messages. so that the producer can program his management of disease control

Key words: Predictive analytic modeling

Resumen

A pesquisa foi conduzida no campo experimental San Luis, em Nuevo Chimbote. O objetivo era ter informações para a prevenção de gelo (*Phytophthora infestans*) na cultura da batata (*Solanum tuberosum*) utilizando dados da estação meteorológica que a USP conta, especificamente a escola de engenharia agrônoma. Trabalhamos em duas parcelas divididas de 2000 m², onde o manejo agrônomo da cultura de batata foi realizado, em uma das parcelas foram aplicadas as informações fornecidas pela estação meteorológica, e na outra parcela o trabalho foi desenvolvido de maneira tradicional, de acordo com a conhecimento dos agricultores. Foi possível desenvolver um sistema informático baseado em alertas, o que nos diz exatamente quando as aplicações químicas devem ser feitas, dependendo das condições para a multiplicação do fungo (*Phytophthora infestans*) e também mensagens de aviso. para que o produtor possa programar sua gestão do controle de doenças

Palavras-chave: Modelagem analítica preditiva

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad San Pedro. Chimbote – Perú. mrpi_19@hotmail.com

Recibido el 30 de abril del 2018
Aceptado el 16 de junio del 2018

Introducción

Durante el proceso de análisis documental, se han encontrado trabajos de investigación relacionados directamente con el tema investigado.

Morales, J. (2015), en la universidad Nacional Mayor de San Marcos se desarrolló la investigación sobre la conexión de una red de estaciones meteorológicas, las que se conectaron vía el internet y se registró los datos de cada estación logrando difundir los datos para los agricultores de la zona. El modelo matemático aplicado se combinó con la parte estadística logrando proyecciones que ayudaron a estimar una la producción en relación con el clima.

La fundamentación científica de la presente investigación está basada en la enfermedad del hielo o racha que es una de las enfermedades más importantes del cultivo de papa y que en muchos casos llega a diezmar los cultivos instalados, el productor agrícola ante esta amenaza siempre realiza un control preventivo gastando grandes cantidades de dinero, pero sin un criterio técnico debido a que no conoce la variación de las variables climatológicas. Esta enfermedad se presenta bajo condiciones de ciertas variables; entre 18 – 21°C de temperatura y cuando la humedad relativa este por encima del 80%, caso contrario no se multiplica el hongo. Es por ello que la presente investigación busca encontrar una forma de alertar a los productores para que cuando se presente estas condiciones recién realicen sus controles y no gasten recursos en eventos que no se presentarían. Así mismo se aplicaron los conocimientos de los modelos analíticos predictivos

Por otro lado, la investigación se justifica; desde el punto de vista del conocimiento, porque se aplicaron técnicas de control para programar las alarmas según los indicadores de las variables atmosféricas, en la aparición y multiplicación del hongo en la planta de la papa; asimismo desde el punto de vista social con esta investigación se verán beneficiados los agricultores y de manera implícita los consumidores de dichos productos.

Frente a la necesidad de que los agricultores cuenten con información para prevenir la enfermedad del hielo, es que se plantea el problema de manera interrogativa: ¿La aplicación del Modelado Analítico Predictivo en la Prevención de Enfermedades Agrícolas permitirá detectar el hielo (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)?

La analítica predictiva es una forma de análisis avanzado que utiliza datos nuevos e históricos para predecir la actividad futura, el comportamiento y las tendencias. Implica la aplicación de técnicas de análisis estadístico, consultas analíticas y algoritmos automáticos de aprendizaje automático a conjuntos de datos para crear modelos predictivos que sitúen un valor numérico o puntuación en la probabilidad de que ocurra un evento particular.

Por lo tanto, para desarrollar el modelado es necesario analizar los datos registrados por la estación meteorológica, diseñar el algoritmo que identifica las variables y genere las alarmas, determine los momentos críticos para la prevención de la enfermedad *P. infestans* e Implementar un Sistema Informático basado en el modelo predictivo, que permita controlar la enfermedad.

Material y Métodos

La presente Investigación fue de tipo experimental, diseño de Investigación Parcelas divididas; 1 000 m² cada una.

Descripción de trabajo en campo:

- Ubicación y Preparación del terreno: Se utilizarán dos parcelas que están ubicados dentro de los ambientes de la Universidad San Pedro en San Luis, en Nuevo Chimbote. Primera parcela con sembrío tradicional, segunda parcela con el control del software y ayuda de la estación meteorológica.
- Densidad de siembra: El distanciamiento entre surcos ha sido de 1,00m y 0,30 m entre plantas con una densidad de 33 333 plantas/ha.
- Tratamiento de la semilla: La semilla utilizada, ha sido de la variedad Perricholi, de la categoría certificada proveniente del distrito de Huasahuasi provincia de Tarma departamento Junín.
- En un cilindro de 150 L Se aplicó una solución de 200 g. de benlate más 1 pastilla de activol para el tratamiento de 1000 Kg. de semilla de papa.
- En una malla de pescador se sumergió en la solución por un espacio de 5 minutos luego se deja escurrir y se pasa a la cama de brotamiento la misma que no debe tener una altura mayor de 20 cm.
- En la cama de brotamiento, se voltea la semilla cada 8 días y a los 30 días, en promedio, está apto para la siembra en terreno definitivo.
- La siembra se realizó y se utilizó 2 667 kg de semilla por ha es decir 267 kg de semilla por cada parcela experimental.
- Para el control fitosanitario en la parcela con sistema tradicional se utilizó 3 aplicaciones para rancho con el uso de 6 kg de metalaxyl más mancozeb por ha. y en la parcela de control no se utilizaron ningún control para rancho y el riego fue establecido por goteo.
- La cosecha se realizó a los 115 días de la siembra y los resultados fueron los siguientes: parcela experimental 1 230 kg y parcela tradicional 1 280 kg. es decir, con sistema tradicional 12 620 kg/ha y en parcela experimental 12 410 kg/ha



Figura 1: Proceso de elaboración y cultivo de papa

Metodología para el desarrollo analítico predictivo:

- Análisis descriptivo: Todo proceso de modelamiento inicia con el análisis descriptivo de la información y tiene que ver con la exploración de los datos utilizando metodologías numéricas y gráficas, las cuales dependen del tipo de variables

disponibles. En esta fase se garantiza que la data cumpla con estándares de completitud y exactitud

- **Análisis predictivo:** La búsqueda de asociación entre la variable dependiente y las independientes en un proceso iterativo de selección de las mejores variables para predecir o explicar el problema de negocio, este proceso es conocido como modelamiento estadístico, usualmente se lo realiza con software desarrollado por el equipo de investigación.
- **Entrenamiento/Aprendizaje:** En la medida que pasa el tiempo los modelos predictivos son sensibles al cambio de condiciones del mercado y a la generación de nueva información, por esta razón se recomienda probar el rendimiento de los modelos al menos dos veces por año y si es necesario calibrarlos para que recojan de menor manera los patrones, sea de la nueva población o de la nueva información existente.
- **Recopilación de los datos de la estación meteorológica,** procediendo con el análisis de los datos que la estación meteorología registra. Encontrándose que de la información que nos brinda nos centramos en los datos relacionados a la Humedad Relativa y la Temperatura.
- **Así mismo se procedió con el análisis del sistema informático,** se identificó los datos que alimentaría la estación meteorológica al sistema informático. Se identificó los puertos que interactuaría con la estación, el sistema en base a las variables de control como son la Humedad relativa y bajo de ciertos parámetros debe reportar las alarmas e informar al responsable de la parcela de prueba, mientras que la parcela de testigo se tendrá un trabajo tradicional.

Resultados

Los pronósticos se dividen en dos tipos principales, los pronósticos cualitativos y cuantitativos. Dentro de los pronósticos cuantitativos encontramos a los pronósticos de series de tiempo, los cuales se pueden aplicar en meteorología para la predicción del clima, para predecir variables tales como la temperatura, velocidad de viento, etc. El algoritmo mostrado a continuación se basa en el pronóstico por series de tiempo, y toma en consideración el patrón cíclico que pueden tener las diversas variables del clima

```

class Pronostico {
// Calcula el coeficiente de regresion de una serie de valores
// Formula: y = a + bx
// Devuelve [a, b, count] -> [intercepto, pendiente, count]
public function coeficientesRegresion($valores, $n = 24) {
    $sup = count($valores);
    $inf = ($sup >= $n) ? ($sup - $n) : 0;
    $count = ($sup - $inf);

    // parámetros de los valores
    $sum_x = 0;
    $sum_y = 0;
    $sum_x2 = 0;
    $sum_xy = 0;
    $x = 0;

    for ($i = $inf; $i < $sup; $i++) {
        $x = ($i + 1);
        $sum_x += $i;
        $sum_y += $valores[$i];
        $sum_x2 += pow($x, 2);
        $sum_xy += $x * $valores[$i];
    }

    $a = 0;
    $b = 0;

    if ($count > 0 && abs($count * $sum_x2 - pow($sum_x, 2)) > 0) {
        $b = ($count * $sum_xy - $sum_x * $sum_y) /
            ($count * $sum_x2 - pow($sum_x, 2));
        $a = ($sum_y - $b * $sum_x) / $count;
    }

    return ['a' => $a, 'b' => $b, 'count' => $count];
}
}
    
```

Figura 2: Desarrollo de código fuente modelo coeficiente de regresión y pronóstico regresión

```

$matrix['multip_estac'] = $multip_estac;
$matrix['prs_regresion'] = $prs_regresion;
return $matrix;
}

// Calcula el pronostico estacional de los valores especificados
// este pronostico se basa en regresion lineal para pronosticar
// basado en la tendencia de los valores
public function pronosticoEstacional($valores, $n = 24, $period = 12) {

// valores config:
$period = ($period > 0) ? $period : 1;
$decimals = 4;

// consultar matrix
$matrix = $this->pronosticoEstacionalMatrix($valores, $n, $period);
$a = $matrix['a'];
$b = $matrix['b'];
$count = $matrix['count'];
$multip_estac = $matrix['multip_estac'];

if ($count > 0) {
// pronostico regresion sig. periodo
$prs_regresion = round($a + $b * ($count + 1), $decimals);

// determinar cual multiplicador utilizar (validar indice k)
$k = ($count % $period);
$k = ($k < count($multip_estac)) ? $k : (count($multip_estac) - 1);

// hallar pronostico estacional
$prs_estacional = $prs_regresion * $multip_estac[$k]['promedio'];
return $prs_estacional;
} else {
return 0;
}
}
    
```

Figura 3: Desarrollo de código fuente modelo de pronóstico estacional

El código fuente presentado arriba, se divide en 3 partes:

La primera parte es la función denominada `coeficientesRegresion()` en cual se encarga de hallar la tendencia (T) predominante del comportamiento de las variables climáticas.

La segunda parte, es la función `pronosticoEstacionalMatrix()` la cual determina los multiplicadores estacionales es decir el peso del valor una variable climática en un determinado periodo de tiempo, para así poder determinar el valor de la variable para el siguiente periodo, de esta manera se determina la estacionalidad (E) de la variable.

La última parte es la función `pronosticoEstacional()` esta función es la que se llama desde el módulo climático del sistema y que permite pronosticar directamente pasándole como entradas los valores de la variable climática, el número de valores a tomar en cuenta hacia atrás y el número de periodos en que se agruparan los valores para pronosticar, el algoritmo procesa estos valores utilizando las otras dos funciones anteriormente citadas y calculando el pronóstico, la salida del algoritmo es el valor de la variable climática para el siguiente periodo.

Sistema web de control agrícola:

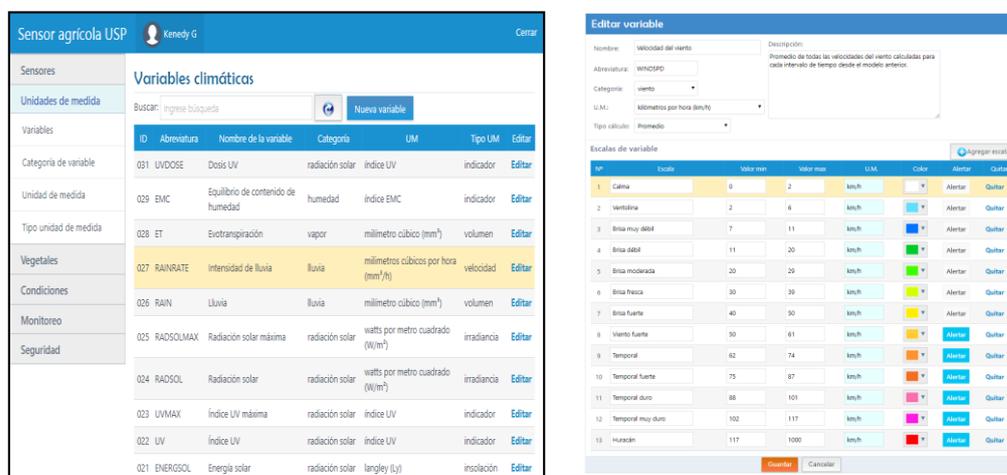


Figura 4: Desarrollo de interfaces de usuario definición de variables e indicadores por escala de variable

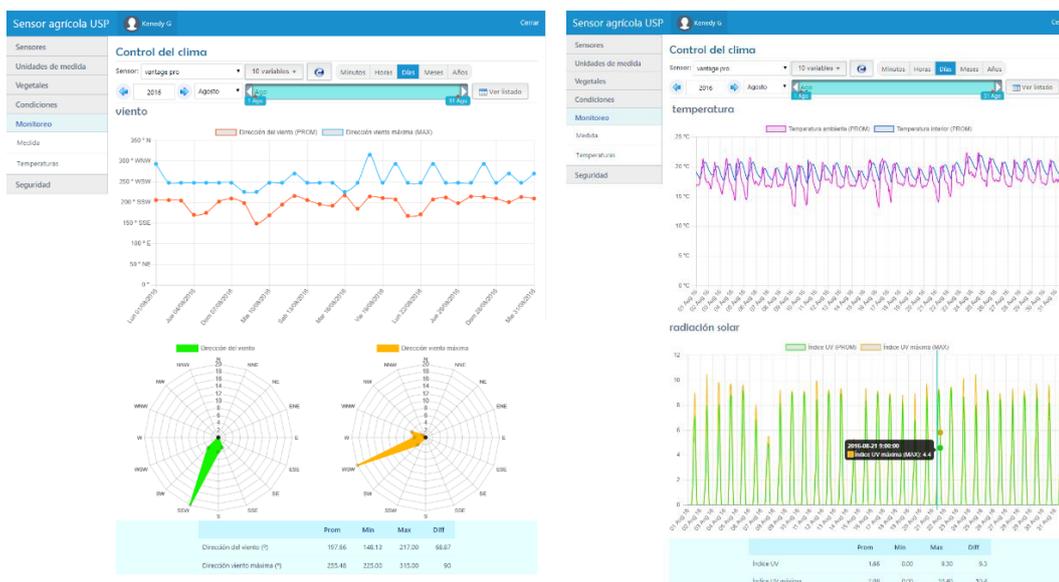


Figura 5: Desarrollo de interfaces de usuario reporte del clima y monitoreo de variables.

Discusión

Son los pocos los estudios de investigadores en materia de modelos analíticos para la prevención de enfermedades agrícolas, con la aplicación de la informática se busca dar solución al control y monitoreo de los problemas que afectan una producción de producto agrícola como es la papa de los antecedentes:

En relación a la investigación de Morales, J. (2015), en la universidad Mayor de San Marcos se desarrolló la investigación sobre la conexión de una red de estaciones meteorológica, las que se conectaron vía el internet y se registró los datos de cada estación logrando difundir los datos para los agricultores de la zona. El modelo matemático aplicado se combinó con la parte estadística logrando proyecciones que ayuda a estimar una producción en relación con el clima.

El sistema desarrollado fue utilizando con ayuda de una estación meteorológica que permita almacenar 34 tipos de variables atmosféricas con el desarrollo del código fuente aplicando algoritmos de regresión lineal, coeficiente y el pronóstico para el monitoreo permite generar alertas que notifica al móvil del usuario en cuanto a la variación del clima, para saber cuándo poder actuar con algún tipo de solución orgánica y no hacerlo como tradicionalmente se hace.

Conclusiones

Se logró utilizar la información de la estación meteorológica en el sistema informático, el cual brindo información para la parcela 1 (grupo experimental). Los datos obtenidos correspondían a los años 2016 y 2017. La parcela 2 se trabajó de manera independiente de manera tradicional.

Se diseñó el algoritmo de predicción por series de tiempo basado en el modelo cíclico para la predicción de clima y su implementación en el lenguaje PHP

Se logró determinar los momentos en que puede aparecer una plaga de acuerdo a las condiciones climáticas, de esta manera se comprueba la hipótesis, al aplicar la información a la parcela experimental ya que permite tener información del momento exacto para aplicar fungicidas y no desperdiciar el material cuando no se tiene información exacta.

Se desarrolló un sistema informático web que permite registrar la información de la central meteorológica, y basado en ciertos parámetros permite enviar un mensaje de alerta a los agricultores, dicho sistema también permite cubrir otros tipos de enfermedades relacionados con las variables que considera la estación meteorológica.

Según nuestras conclusiones podemos recomendar lo siguiente:

- Capacitar al personal para el buen uso del sistema informático con articulación de la estación estereológica.
- Todo supervisor debe contar con un celular para recibir las alertas.
- Analizar nuevas enfermedades y sus condiciones climáticas en las que aparece para agregarlos al sistema y así tener un mejor control sobre otras enfermedades de las plantas.

Referencias Bibliográficas

- Arán Manansingh, 2011, Indicadores Claves de Desempeño de TI – Por Arun Manansingh, <https://cafrancavilla.com/2011/09/21/indicadores-claves-de-desempeno-de-ti-%E2%80%93por-arun-manansingh/>.
- David Martínez Simarro, “Big Data y agricultura de precisión, cómo reducir los riesgos en la producción de alimentos agropecuarios”, <http://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/big-data-y-agricultura-de-precision-como-reducir-los-riesgos-en-la-produccion-de-alimentos-agropecuarios/>.
- Carlos de los Ríos 2009 Banco Mundial: Consultoría para el Agricultura, Asesoramiento y Desarrollo del Programa Estratégico en Productividad Rural en el Sector.
- Clarke, C. Mohtadi, P. Tuffs. "Generalised predictive control". Part. I: The basic algorithm. Part. 2: Extensions and interpretations. Automatica.VoL23.N"2,pp. 137-160. 2007.
- García, J. (2015) 19 de febrero de 2015, “Big data y la nueva revolución del sector agrícola”. <https://aunclidelastic.blogthinkbig.com/bigdata-agricultura/>.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Sexo y Grupos Quinquenales de Edad 1995-2025. Boletín de Análisis Demográfico N° 37., <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>.
- Isabella Muñoz (2018) Los contrastes. <https://www.larepublica.co/finanzas/fondos-de-capital-buscan-invertir-en-fintech-y-agro-2709257?platform=hootsuite>.
- Ministerio de agricultura y riego, “Documento prospectivo al 2030 sector Agricultura y Riego” <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/dcto-prospectivo-2030.pdf>.

- UNAM. Observatorio Atmosférico. (2015). Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la UNAM. Obtenido de Observatorio Atmosférico UNAM: http://www.ruoa.unam.mx/UNAM/index_UNAM.html.
- UNAM. Observatorio Atmosférico. (2015a). Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la UNAM. Obtenido de Observatorio Atmosférico UNAM: http://www.ruoa.unam.mx/UNAM/index_UNAM.html.
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. (2015). Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS), Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/unidad.html>