



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

**Optimización del recurso hídrico mediante algoritmo
genético en el fundo de paltos “El Silencio”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación
Operativa

AUTOR

Mirella Judith CABEZUDO POMA

ASESOR

Mg. Mario Edison NINAQUISPE SOTO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cabezudo, M. (2023). *Optimización del recurso hídrico mediante algoritmo genético en el fundo de paltos “El Silencio”*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Mirella Judith Cabezudo Poma
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70540678
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Mario Edison Ninaquispe Soto
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41888115
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6287-3291
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Carlos Oré Luján
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06119405
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alicia Cirila Riojas Cañari
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06018994
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.5. Aplicaciones de herramientas de IO a la producción de bienes y servicios

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	diciembre 2023
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

DECANATO

Foja. 11

Anexo 6

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADA EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 16:00 horas del martes 5 de diciembre del año 2023, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador de Tesis:

Mg. José Carlos Oré Luján	(Presidente)
Lic. Alicia Cirila Riojas Cañari	(Miembro)
Mg. Mario Edison Ninaquispe Soto	(Miembro-Asesor)

Para la sustentación de la Tesis intitulada: "OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE ALGORITMO GENÉTICO EN EL FUNDO DE PALTOS "EL SILENCIO"", presentada por la señorita Bachiller Mirella Judith Cabezudo Poma, para obtener el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, la expositora mereció la aprobación APROBADO CON MENCIÓN HONROSA, con un calificativo promedio de Dieciséis (16) (letras y números).

A continuación, los miembros del jurado dan manifiesto que la participante señorita Bachiller Mirella Judith Cabezudo Poma, en virtud de haber aprobado la sustentación de su tesis, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Siendo las 16:45 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

PRESIDENTE

Mg. José Carlos Oré Luján

MIEMBRO

Lic. Alicia Cirila Riojas Cañari

MIEMBRO-ASESOR

Mg. Mario Edison Ninaquispe Soto





CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Mario Edison Ninaquispe Soto en mi condición de asesor acreditado con la con Resolución Decanal No. 000345-2021-D-FCM/UNMSM de la Tesis, cuyo título es: *“OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE ALGORITMO GENÉTICO EN EL FUNDO DE PALTOS “EL SILENCIO”*, presentado por la bachiller: MIRELLA JUDITH CABEZUDO POMA, para optar el título profesional de: Licenciado en Investigación Operativa.

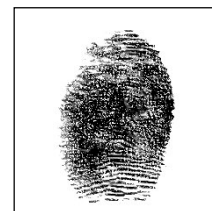
CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 17 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor:

DNI: 41887115

Mg. Mario Edison Ninaquispe Soto



Huella digital

Dedicatoria

A mi amada madre, Teresa, por guiarme y protegerme, por tu apoyo incondicional en cada paso y decisión tomada, por darme todo el amor y enseñarme lo que es la perseverancia y el no rendirse, por sobre todo confiar en mí. ¡A ti te debo todo lo que soy, Te amo!

A mi amado padre, Gilberto, por tus esfuerzos, por tus valores inculcados, por tus consejos, por recordarme que siempre hay motivos para seguir adelante, con honestidad y respeto, pero sobre todo por tu respaldo incondicional. Estoy feliz de que seas mi mejor ejemplo, que me llevo a conseguir este logro. ¡Te amo!

A mi querido abuelo, Belisario, que me cuidó desde muy pequeña, a quien prometí con todo el corazón y amor, que terminaría esta etapa y se sentiría orgulloso de mí. Sé que desde el cielo esta siempre protegiendo de mi familia y de mí. ¡Papito, lo logré!

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme esta dicha de celebrar este logro junto a mi familia y personas cercanas.

Agradezco, a mis hermanos Piero y Denis, por apoyarme en el proceso del desarrollo de mi tesis, sin su orientación y tiempo dedicado no hubiera sido posible este logro.

Agradezco también a mi asesor el Mg. Mario Ninaquispe por su enseñanza, guía y paciencia en la asesoría, impulsándome siempre a seguir adelante durante el desarrollo de mi tesis.

Finalmente agradezco, a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en específico a la Facultad de Ciencias matemáticas - Escuela profesional de Investigación operativa, los profesores, quienes me enseñaron tanto de la profesión como de la vida, los cuales son momentos inolvidables, no fue fácil, pero se logró, ¡gracias por todo!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Determinación del problema.	3
1.2. Formulación del problema.....	7
1.2.1. General.....	7
1.2.2. Específico.....	7
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4. Alcance de la investigación.....	8
1.5. Justificación de la investigación.....	9
1.5.1. Justificación práctica.....	9
1.5.2. Justificación social.....	9
1.5.3. Justificación teórica	9
1.6. Limitaciones de la investigación	10
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	11
2.1. Bases teóricas	11
2.1.1. Optimización.....	11
2.1.2. Optimización Lineal	11
2.1.3. Optimización Combinatoria.....	14
2.1.4. Optimización con múltiples objetivos	15
2.1.5. Problemas de optimización.....	15
2.1.6. Métodos para la solución de problemas de optimización	17

2.1.7. Algoritmo Genético	20
2.2. Antecedentes del estudio.....	25
2.2.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.2.2. Antecedentes Nacionales	27
2.3. Marco Conceptual	30
2.3.1. Recursos Naturales	30
2.3.2. Recurso Hídrico	30
2.3.3. Suelo	30
2.3.4. Agricultura.....	30
2.3.5. Riego.....	31
2.3.6. Escasez de Recurso hídrico.....	31
2.3.7. Gestión del Recurso hídrico.....	32
2.3.8. Uso eficiente del Recurso hídrico	32
2.3.9. Despilfarro.....	32
2.3.10. Herramientas	32
CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	34
3.1. Hipótesis.....	34
3.1.1. Hipótesis General.....	34
3.1.2. Hipótesis Específicas	34
3.2. Variables.....	34
3.3. Operacionalización de variables.....	36
3.3.1. Matriz operacional de las variables	36
CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS	37
4.1. Área de estudio	37
4.2. Tipo y diseño de investigación.....	37

4.3. Población y muestra	38
4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección.....	39
4.5. Análisis estadístico	41
4.6. Aplicación del algoritmo genético.....	41
4.6.1. Diagramas de flujo del algoritmo GRASP	41
4.6.2 Diagramas de flujo del algoritmo genético.....	44
CAPITULO V	46
5.1. Valores de entrada	46
5.2 Modelo Matemático	48
5.3. Diseño estructural de Algoritmo Genético	49
5.4. Diseño computacional de algoritmo genético	54
5.5 Presentación y análisis de resultados.....	62
5.6. Validación de hipótesis	65
5.6.1. Análisis de normalidad.....	65
5.6.2 Prueba t de Student diferencias de medias.....	69
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN	72
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	77
ANEXO.....	81
Anexo 1. Matriz de consistencia	81
Anexo 2. Mapa de los sectores de terrenos del fundo “El Silencio”- Ayacucho	83
Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.....	84
Anexo 3.1. Protocolo de entrevista.....	84
Anexo 3.2. Protocolo de entrevista.....	86

Anexo 4. Costos incurridos en las 4 fertilizaciones y otros durante un periodo de 9 meses	87
Anexo 5. Código de programación en Python	93
Anexo 5.1. Código de programación de Algoritmo GRASP.....	93
Anexo 4.2. Código de programación del Algoritmo Genético.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables	36
Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos.....	40
Tabla 3. Tiempo de riego expresado en minutos	46
Tabla 4. Ingreso total de lotes.....	47
Tabla 5. Secuencia de riego empírica del Fundo " El Silencio".....	62
Tabla 6. Secuencia de riego obtenida mediante algoritmo genético	63
Tabla 7. Tiempo de riego reducido por lotes.....	63
Tabla 8. Recurso hídrico asignado por lote (Litros).....	64
Tabla 9. Prueba de Shapiro Wilk para los tiempos obtenidos mediante Algoritmo Genético.....	66
Tabla 10. Prueba de Shapiro Wilk para el recurso hídrico obtenidos mediante Algoritmo Genético.....	67
Tabla 11. Prueba de Shapiro Wilk para el ahorro de Recurso Hídrico obtenido mediante Algoritmo Genético.....	68
Tabla 12. Prueba t de Student diferencia de medias para la variable tiempo (minutos).....	70
Tabla 13. Prueba t de Student de diferencia de medias para la variable Recurso Hídrico	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Suma Global de todas las extracciones de agua	4
Figura 2. Promedio de Proporciones en cada País de agua.....	4
Figura 3. Cruce de un punto	23
Figura 4. Cruce de dos puntos.....	23
Figura 5. Cruce Uniforme	24
Figura 6. Diagrama de flujo de Algoritmo GRASP	42
Figura 7. Diagrama de flujo del Algoritmo Genético	44
Figura 8. Representación de lotes	50
Figura 9. Esquema general de la población	51
Figura 10. Cruzamiento Uniforme	52
Figura 11. Introducción de datos recolectados en Python.....	54
Figura 12. Codificación del operador evaluación en Python	55
Figura 13. Codificación del operador selección en Python.....	57
Figura 14. Codificación del operador cruzamiento Uniforme	59
Figura 15. Codificación del operador mutación.....	61
Figura 16. Tiempo de riego de lotes del fundo obtenido mediante Algoritmo	67
Figura 17. Asignación de recurso hídrico a cada lote del fundo.....	68
Figura 18. Ahorro de recurso hídrico en el fundo.....	69

RESUMEN

El uso del recurso hídrico se ha convertido en un aspecto muy importante para la empresa fundo de paltos “El Silencio” ubicado en el departamento de Ayacucho, debido a la generación de diversos problemas sobre el modo de su distribución y posterior escasez, que generan costos adicionales además de los propios a la producción de paltos. La presente investigación tiene como objetivo general diseñar un algoritmo genético para aumentar la eficiencia del uso del recurso hídrico en el fundo de paltos “El Silencio” mediante la metaheurística, esto con la finalidad de encontrar nuevas rutas de distribución y asignación de agua que ayuden a minimizar despilfarros. Para el desarrollo de la investigación se tomó una muestra por conveniencia de 11 lotes, se ejecutó la codificación de la metaheurística en lenguaje Python y se usó el algoritmo GRASP para la generación de la población inicial (apoyo), obteniendo como resultado rutas alternativas para la distribución del recurso hídrico logrando disminuir el tiempo de riego de los lotes de 1,117 minutos a 968 minutos, así mismo se pudo reducir la cantidad de agua destinada a cada lote, logrando un ahorro de 45,422.018 litros. Finalmente, para validar las hipótesis planteadas se utilizó la prueba t de Student con diferencia de medias que permitió demostrar la efectividad y eficacia de la metaheurística propuesta, en contraste con la secuencia de riego empírica de la empresa.

Palabras clave: Optimización, Metaheurísticas, Algoritmo Genético, Algoritmo GRASP, Sistema de riego.

ABSTRACT

The use of water resources has become a very important aspect for the avocado farm company “El Silencio” located in the department of Ayacucho, due to the generation of various problems regarding the way of its distribution and subsequent shortages, which generate costs. additions to those specific to the production of avocados. The general objective of this research is to design a genetic algorithm to increase the efficiency of the use of water resources in the “El Silencio” avocado farm through metaheuristics, with the aim of finding new routes for the distribution and allocation of water that help minimize waste. For the development of the research, a convenience sample of 11 lots was taken, the coding of the metaheuristic was executed in Python language and the GRASP algorithm was used to generate the initial population (support), resulting in alternative routes for the distribution of the water resource, managing to reduce the irrigation time of the lots from 1,117 minutes to 968 minutes, and it was also possible to reduce the amount of water allocated to each lot, achieving a saving of 45,422,018 liters. Finally, to validate the proposed hypotheses, the Student's t test with difference in means was used to demonstrate the effectiveness and efficiency of the proposed metaheuristic, in contrast to the company's empirical irrigation sequence.

Keywords: Optimization, Metaheuristics, Genetic Algorithm, GRASP Algorithm, Irrigation system.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación enfoca al tema de la optimización del recurso hídrico, que se puede definir como “el manejo eficiente del recurso hídrico a cada lote de terreno considerando sus requerimientos” (García & Jimenez, 2021).

El sector de producción agrícola se caracteriza principalmente porque depende mucho del recurso hídrico ya que “el riego consume la mayor parte del agua que se extrae, frecuentemente la mitad o más, como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos” (Agua y Cultivos, s. f.). En ese sentido, no basta sólo con preguntarse por la importancia de este recurso, sino también en comprender los factores que pueden influir en la distribución de este. Para analizar esta problemática, es necesario mencionar que “la baja tecnificación del país en los sistemas de riego utilizados en el sector agrícola conlleva a un manejo deficiente del recurso hídrico, utilizando el 70 % del agua disponible”(García & Jimenez, 2021). La empresa, fundo de paltos “El Silencio” reconoce la importancia de este recurso, por lo que se genera una gran preocupación, ya que se tendrían gastos adicionales en la extracción del agua de otro canal de abastecimiento y en el peor de los casos, de no contar con el permiso necesario se pondría en riesgo toda la producción.

Por ello el trabajo de investigación se realizó con el interés de conocer el nivel de importancia de la distribución del recurso hídrico, en particular en el sector productivo. Esto permitió identificar algunas herramientas de investigación operativa, que pueden ser utilizadas para brindar solución a la problemática, generando nuevas alternativas, no sólo para la distribución de recurso y la asignación de este a cada lote de terreno del fundo de paltos “El silencio”, sino también para aportar nuevas formas de gestión del recurso en diferentes situaciones y proporcionar este a lugares afectados por la escasez.

En ese sentido, para dar solución a la problemática se decide utilizar como herramienta un algoritmo genético apoyado del algoritmo de GRASP para la generación aleatoria de la población inicial de terrenos, considerando los siguientes factores:

beneficio, tipo de terreno, pendiente del terreno y la cantidad de agua disponible en el fundo.

La finalidad de la investigación fue diseñar un algoritmo genético para la optimización del recurso hídrico en el fundo de paltos “El silencio”. Esta investigación está estructurada de la siguiente manera.

En el capítulo I se realizó el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación así mismo la justificación, el alcance y las limitaciones que presentó la investigación.

En el capítulo II se realizó la revisión de la literatura tanto de los aspectos teóricos como las investigaciones que abordan el tema, que fueron de gran importancia para el desarrollo de la investigación.

En el capítulo III se presenta las hipótesis y las variables consideradas para la investigación.

En el capítulo IV se presentan los materiales y métodos como, tipo y diseño de la investigación, los procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos que considera la investigación.

En el capítulo V se presentan los valores de entrada, diseño estructural y computacional del algoritmo genético, los resultados obtenidos y validación de hipótesis.

En el capítulo VI se presenta la discusión de la investigación

En el capítulo VII se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema.

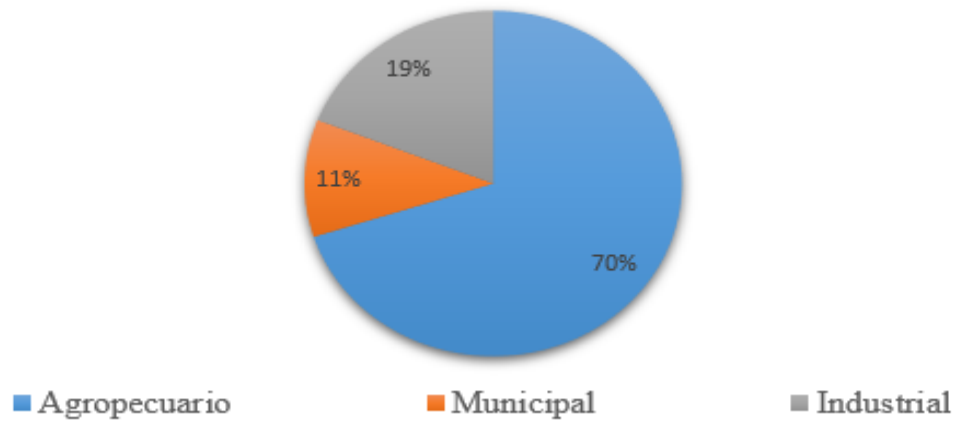
Los recursos naturales se han convertido probablemente, en uno de los temas de mayor importancia a nivel mundial, por su necesidad, uso y escasez; sumados a que generan bienestar y desarrollo a los países.

El recurso hídrico es un recurso natural reconocido como renovable, pero limitado. No toda el agua es un recurso hídrico, aquello que lo caracteriza es si tiene algún propósito para ser usado por la sociedad. Por ejemplo: el agua de una corriente no es en sí un recurso hídrico, pero si lo es se usa para riego, suministro doméstico, entre otros. (FERREIRA, 2008)

Tomando en cuenta lo citado, se ha percibido con el pasar de los años que el recurso hídrico sería un factor necesario e importante no sólo para el ser humano como fuente de vida, sino también para la agricultura, ganadería, industria y otras actividades económicas que se ha podido observar en el mundo.

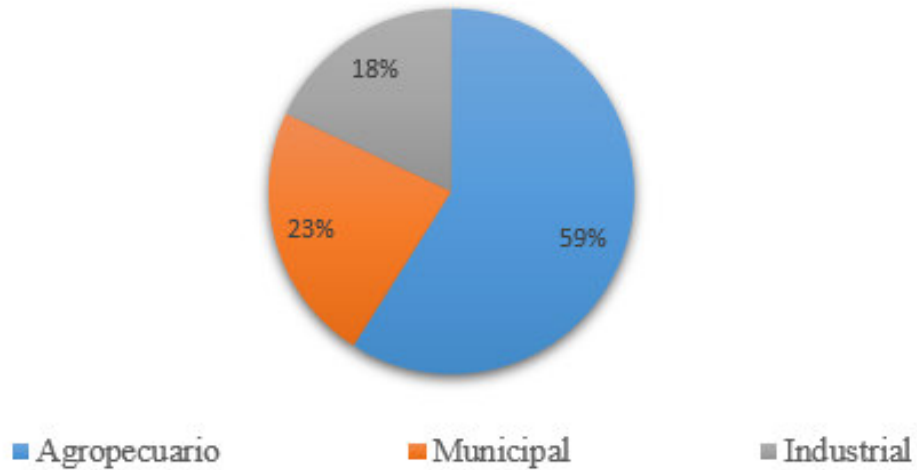
A nivel mundial, aproximadamente el 70% de proporciones de extracción del agua son agropecuaria, 11% municipal incluido lo domestico, y el 19 % industrial. Así calculando las proporciones en cada país y tomando el promedio de éstas, se demuestra que para un país dado se tiene las proporciones agua de 59% agropecuario, 23 % municipal y 18% industria, tal como se muestra a continuación(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f.).

Figura 1. Suma Global de todas las extracciones de agua



Nota. Recuperado de <http://www.fao.org/aquastat/es/overview/methodology/water-use>

Figura 2. Promedio de Pronorciones en cada País de agua



Nota. Recuperado de <http://www.fao.org/aquastat/es/overview/methodology/water-use>

Por lo mencionado en la *FAO* (2020) se observa que existe una fuerte necesidad e importancia del recurso hídrico en todo el mundo, pero este recurso ha sido afectado por el problema de la escasez de agua causado probablemente no sólo de manera natural sino por los seres humanos que durante mucho tiempo han distribuido el recurso de manera irregular. Según Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015 (s. f.), cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial vive en áreas de escasez física de agua, y 500 millones se aproximan a esta situación. Además, el Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015 menciona también que otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a diversas situaciones de escasez económica de agua, esta situación en la que los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos.

América Latina es una de las más beneficiadas por el recurso hídrico pero el problema de la escasez del agua aún está vigente y es causado por diferentes actividades y acciones del ser humano. Asimismo, América Latina representa un 8.4 % de la población mundial junto a el Caribe, donde afortunadamente es uno de los continentes dotadas de agua dulce el cual tiene un escurrimiento medio anual del 30,8 % en todo el mundo. Además su distribución del agua es aproximadamente 12% agricultura, 69 % industrias y 19% doméstico. (Arias, 2007, P.165).

Debido a su diversidad y variada topografía que se observa, América Latina y el Caribe ha desarrollado diferentes sistemas de producción que abarca una gran necesidad del uso del Recurso Hídrico y con ello la gran preocupación por una adecuada distribución del recurso en la mayoría de empresas dedicadas a la actividad agrícola, entre otros.

Según Portugal (2011), en el Perú el problema de la escasez del Recurso Hídrico no es ajeno, por lo que dicha problemática se ha evidenciado en las regiones de alta actividad en producción y en lugares que en opinión propia la ayuda para el abastecimiento y el transporte del recurso ha sido probablemente poco atendidas. Así mismo, en el Perú es el sector agrícola quien concentra el 80% del uso del agua a nivel nacional, seguido por

el uso poblacional que se encuentra en un 12 %, el industrial en un 6 % y el uso del agua para la minería se encuentra en un 2%.

La población peruana no ha tomado conciencia del desperdicio del agua que se produce a diario, probablemente con el mal uso de este, afectando directamente a diversos sectores en especial al sector agrícola, que viene sufriendo diversos problemas y esto debido a los cambios climáticos que presenta y que se ha evidenciado. Particularmente, la forma de distribución del agua en cultivos podría ser uno de los principales factores que influye en su agotamiento.

En la mayoría de las regiones se podría observar que la distribución del agua está aparentemente regulada, pero esto no asegura el uso óptimo del recurso debido a que podría existir deficiencias en el sistema de riego, además de una falta de consideración de factores que influyen en ella y que podrían no ser considerados en el momento de realizar el riego. Por ejemplo, el tipo de suelo en el que se cultivó, el tipo de planta que se cultivó, las hectáreas que se tiene, la distancia entre el reservorio de agua y las hectáreas.

Según Pizarro Rodriguez (2015) para el problema de la escasez de agua existen diversos factores que lo generan entre los cuales se encuentra el incremento del uso de este recurso en el riego de cultivos debido a una ineficiente distribución; siendo esta una de las más alarmantes. Para ello toma como herramienta el algoritmo genético apoyado de algoritmo de grasp con la finalidad de optimizar la distribución del recurso hídrico en el riego. Obteniendo como resultado una mejora de un 14% de la función fitness del algoritmo genético respecto al Grasp de tal forma que se mejoró y solucionó el problema descrito.

Ante la situación descrita anteriormente a nivel nacional, el departamento de Ayacucho especialmente la empresa fundo de paltos “El Silencio” no ha sido ajena a esta problemática, debido que, a pesar de tener pocos años de actividad en producción de paltos y haber realizado todo el esfuerzo necesario para resolver las diferentes situaciones que se han presentado, en especial con el tema del recurso hídrico, hasta ahora junto a la ayuda, asesoramiento de las personas capacitadas y contando con un sistema de riego tecnificado, las preocupaciones por parte de la empresa a causa del recurso hídrico es grande pues son

conscientes de la importancia que cumple el recurso hídrico para sus actividades económicas.

Debido a la problemática mencionada, la empresa es consciente que a falta del recurso o al no tener el agua suficiente para sostener la producción, esto tendría como consecuencia un alto costo para construir una infraestructura de transporte del agua de otro canal de abastecimiento hacia el fundo y en el peor de los casos, de no encontrarlo, la empresa estaría en riesgo. Por lo que la presente investigación brinda una solución a la problemática que presenta la empresa fundo de paltos “El Silencio”, una solución que mejore la distribución del recurso hídrico teniendo en cuenta la capacidad y cantidad de recurso hídrico que la empresa tiene acceso.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. General

¿Cómo optimizar la distribución del recurso hídrico mediante el uso del algoritmo genético en el sistema de riego por lotes en el fundo de paltos “El Silencio”?

1.2.2. Específico

1. ¿Cómo obtener rutas de distribución del recurso hídrico mediante el uso del algoritmo genético en el sistema de riego por lotes en el fundo de paltos “El Silencio”?
2. ¿Cómo asignar el recurso hídrico a cada lote de terreno mediante el uso del algoritmo genético en el sistema de riego por sectores en el fundo de paltos “El Silencio”?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un algoritmo genético para la optimización del Recurso Hídrico en el fundo de paltos “El Silencio”.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Diseñar un Algoritmo Genético para generar rutas de distribución del Recurso Hídrico en el fundo de paltos “El Silencio”.
2. Diseñar un Algoritmo Genético para la asignación del Recurso Hídrico a cada lote de terreno del fundo de paltos “El Silencio”.

1.4. Alcance de la investigación

Esta investigación tiene como finalidad brindar una alternativa de solución al problema y a la preocupación que presenta la empresa fundo de paltos “El Silencio” – Ayacucho, que es donde se realiza la investigación, específicamente en el área de riego. La problemática se centra en mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico mediante su distribución y asignación a cada lote, considerando la cantidad disponible en el reservorio como un factor limitante. El fundo cuenta con un total de 40 lotes, y para este estudio se seleccionaron 11 lotes para el riego, teniendo en cuenta diversos factores como el tipo de terreno, la distancia desde el reservorio al área a regar, el tamaño del terreno y la disponibilidad del recurso hídrico. Es relevante destacar que la asignación del recurso se realiza considerando los requisitos específicos de cada lote, basándose en los datos recopilados durante el año fiscal 2021.

Seguidamente la investigación se centra en el diseño y construcción del algoritmo genético para la solución del problema, tomando como población inicial los lotes de terreno aleatorios generados mediante el algoritmo de GRASP, codificación adaptable en lenguaje Python mediante el programa PyCharm.

Finalmente se procede a realizar la comparación de los resultados obtenidos al terminar la investigación con la política de riego empírica de la empresa.

1.5. Justificación de la investigación.

1.5.1. Justificación práctica

La investigación se enfoca en el diseño y construcción del algoritmo genético para la optimización de recurso hídrico en el fundo de paltos “El Silencio” el cual se utiliza herramientas de Investigación Operativa que se ajuste a la problemática ya presentada, por lo que los resultados de la investigación sirven para reducir el desperdicio del recurso hídrico con lo cual se reduce los costos de producción implicando un aumento en los ingresos de la empresa

1.5.2. Justificación social

La investigación contribuye a la reducción de conflictos que existen a nivel nacional por causa de la escasez de recurso hídrico, ya que las empresas encargadas de la gestión del recurso hídrico tendrán una nueva alternativa para la mejor gestión del recurso hídrico o distribución del mismo y atender a la población que no cuenta con suficiente recurso hídrico para su consumo.

1.5.3. Justificación teórica

Esta investigación tiene como propósito demostrar que la aplicación de la teoría de Metaheurísticas puede ofrecer una perspectiva efectiva para abordar el problema de optimización en el uso del recurso hídrico. En particular, se emplea el algoritmo genético como la herramienta principal para resolver la problemática, ya que resulta más viable que el uso de herramientas exactas proporcionadas por la Investigación Operativa. Esto se debe a que los resultados pueden variar, generando diversas soluciones de rutas para la distribución del recurso en un tiempo aceptable. El algoritmo genético, implementado a través del lenguaje de programación Python en el entorno de desarrollo PyCharm, permite obtener soluciones diversas. Este enfoque facilita la contrastación y adaptación de los resultados teóricos a la realidad del fundo, optimizando su funcionamiento. Además, la metodología utilizada puede servir como base de apoyo para investigaciones futuras que busquen mejorar el uso del recurso hídrico en distintos contextos, incorporando factores específicos relevantes para la resolución de problemas similares.

1.6. Limitaciones de la investigación

La recopilación de información para el desarrollo de esta investigación se vio limitada por la disponibilidad de tiempo de los Stakeholders, ya que la empresa carecía de una base de datos que incluyera información sobre tiempos, edad de las plantaciones, entre otros aspectos. Esta carencia se debió al proceso de formalización que atravesaba la empresa. En consecuencia, fue necesario llevar a cabo gestiones específicas para obtener los permisos necesarios para acceder a la información, realizar entrevistas y posteriormente manipular datos confidenciales del fundo.

En relación con los tiempos observados, los datos recopilados de los 11 lotes distribuidos en 4 sectores de terreno se utilizan exclusivamente para el diseño y la construcción del algoritmo genético. No obstante, es importante señalar que el tiempo requerido para elaborar dicho algoritmo dependerá de la cantidad de factores o variables a considerar. En este caso, la complejidad aumenta con la inclusión de más factores. Por lo tanto, en este estudio, se han considerado factores específicos como el tipo de terreno, la distancia desde el reservorio al sector a regar, el área del terreno y la cantidad disponible de recurso hídrico.

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Optimización

La optimización constituye una disciplina dentro del ámbito de la Investigación Operativa, en la cual convergen diversas teorías, entre ellas la teoría de decisiones, la teoría de colas, la teoría de juegos, y otras disciplinas como los algoritmos metaheurísticos. Su esencia radica en la selección de la mejor alternativa, en algún sentido, entre las diversas opciones disponibles. En este contexto, la optimización se erige como una disciplina intrínseca que engloba técnicas específicas de la investigación de operaciones, conocidas como optimización o programación matemática. Estas técnicas se orientan hacia la búsqueda y aplicación de soluciones óptimas para problemas complejos, contribuyendo así a la toma de decisiones más efectiva y eficiente en diversos contextos (Ramos et al., 2010).

2.1.2. Optimización Lineal

2.1.2.1. Programación Lineal

La técnica más conocida para resolver un problema según sus parámetros es la técnica de Programación lineal. Según Winston (2005) una programación lineal (PL) es una herramienta para resolver problemas de optimización ya definida previamente por lo que un problema de programación lineal consta de tres partes indispensables, las cuales se describen a continuación:

1. Una función lineal o también conocida como función objetivo de variables de decisión, los que se pueden expresar como x_j (x_1, \dots, x_j), que se puede maximizar o minimizar.
2. Un conjunto de restricciones donde cada una de ellas deben ser expresadas como una igualdad o desigualdad lineales que limitan los valores que podrían asumir las variables de decisión o función objetivo.
3. Las restricciones de signo, las cuales especifican para cada variable de decisión x_j (1), si estas son no negativas, $x_j \geq 0$, o bien, (2) que la variable x_j es cero o negativa, en este último caso x_j no tiene restricciones de signo.

Sin embargo, también se utilizan para esta técnica el término de coeficiente de una variable en la función objetivo, que se conoce como el coeficiente de la función objetivo de la variable y el coeficiente de una variable en una restricción, se conoce como el coeficiente tecnológico. El lado derecho de cada restricción se denomina segundo miembro de la restricción. La región factible de una programación lineal consta de todos los puntos que satisfacen las restricciones del PL y las restricciones de signo. Así cualquier punto en dicha región tiene un valor más grande de todos los puntos de la región factible (para un problema de maximización) y es una solución óptima para el problema de programación lineal. Sin embargo es necesario mencionar que una programación lineal podría no tener solución óptima o tener una solución óptima e incluso tener una cantidad infinita de soluciones óptimas (Winston, 2005, p. 112). Formulándose matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{MAX } C_n X$$

sujeto a

$$A_{m \times n} X \leq B_n$$

$$X \geq 0$$

Donde:

- C_n , representa un vector de coeficientes de la función objetivo de dimensión n .
- X , representa la variable de decisión.
- $A_{m \times n}$, representa la matriz de coeficientes de las restricciones de dimensión m por n .
- B , representa al vector columna con dimensión n .

Además, este modelo formulado puede ser resuelto mediante el método simplex el cual fue desarrollado por George Dantzig.

2.1.2.2. Programación Lineal Entera

La programación lineal entera es conocida como una extensión de la programación lineal, es decir, “El problema de programación lineal entera (PE) es un programación lineal en el cual se requiere que todas las variables sean enteros no negativos”(Winston, 2005, p. 475).

Según Hillier & Lieberman (2010), las variables de decisión en muchos problemas prácticos solo tienen sentido real si sus valores son números enteros, por ejemplo, con frecuencia es necesario asignar las actividades a cantidades enteras de personas, maquinas o vehículos, por lo que, si el hecho de exigir valores enteros es la única diferencia que tiene un problema con la formulación de programación lineal, entonces se trata de un problema de programación entera (PE) por lo que el modelo matemático de programación entera es sencillamente el modelo de programación lineal con la restricción adicional de que las variables deben ser valores enteros.(p. 428)

2.1.2.3. Programación Lineal Entera Mixta

Según Hillier & Lieberman (2010) la programación entera mixta (PEM), requiere que algunas variables estén restringidas a valores enteros, es decir, no necesariamente solo 0 y 1, y el resto son variables continuas comunes. Por conveniencia de notación y

comprensión estas variables de valores enteros se ordenarán y representarán con I. Por lo tanto, el modelo descrito se muestra a continuación:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n,$$

$$x_j \text{ es entero, para } j=1, 2, \dots, I; I \leq n.$$

Cuando $I=n$, este problema se convierte en uno de programación entera (PE) pura. (p. 464)

2.1.3. Optimización Combinatoria

Según Aduviri Choque (2019) citado en Papadimitriou & Steiglitz (1982) la Optimización Combinatoria es una rama de la optimización donde el conjunto de posibles soluciones es discreto o se puede reducir a un conjunto discreto. Para este tipo de problemas, a medida que la complejidad del espacio de búsqueda de una solución aumenta, el tiempo de ejecución de dichos algoritmos puede aumentar exponencialmente haciendo que la solución del problema no sea viable.

La mayoría de los problemas basados en situaciones reales se han desarrollado o formulado en un problema de optimización combinatoria ya que esta intenta encontrar la mejor solución en un conjunto de soluciones posibles. Según López (2017) la solución de problemas de optimización combinatorios cuando se tiene un inmenso espacio de posibles soluciones se resuelve mediante algoritmos, dichos algoritmos se describen mejores cuando el problema a resolver es solucionado en menos tiempo o cuando este algoritmo computacional ocupe una menor memoria posible. Teniendo en cuenta lo citado algunos

algoritmos son heurísticos y metaheurísticas los cuales este último se desarrolla en la presente investigación.

2.1.4. Optimización con múltiples objetivos

La optimización de múltiples objetivos aborda una categoría especial de problemas en los que se busca optimizar simultáneamente más de una función. En estos casos, es crucial considerar los posibles conflictos entre los objetivos, ya que, para problemas complejos, no existe una solución que pueda alcanzar valores óptimos para todos los objetivos de manera simultánea. En lugar de eso, suele existir un conjunto de soluciones que no puede ser fácilmente comparado con otras, y a estas se les denomina soluciones no dominadas o soluciones óptimas de Pareto. Este conjunto representa configuraciones en las cuales no es posible mejorar una función objetivo sin sacrificar al menos una de las otras funciones objetivo (Aduviri Choque, 2019, citado en Konak, Coit, & Smith, 2006).

Según Aduviri (2019) un problema de optimización de varios objetivos usualmente presenta la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \{ z_1 = f_1(x), z_2 = f_2(x), \dots, z_q = f_q(x) \} \\ & \text{s. t. } \quad g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

Donde:

- z_1 , es el conjunto funciones objetivo.
- $g(x)$, son funciones que representan las restricciones del problema (s.t. significa “*subject to*” o “sujeto a”, e indica las restricciones en un modelo de optimización).(p.28)

2.1.5. Problemas de optimización

Los problemas de optimización son problemas que consisten en la búsqueda de la mejor solución de un conjunto de variables para llegar a algunas metas deseadas, dichos problemas se pueden dividir en dos categorías: aquellos donde las soluciones están

codificados con variables reales y aquellos donde las soluciones están codificados con variables discretas.(Blum & Roli, 2003)

Además Ramos et al. (2010) plantearon que los problemas de optimización suelen tener tres partes: la función objetivo que es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea maximizar o minimizar, las variables, que representan las decisiones que se pueden tomar para afectar a la función objetivo y las restricciones, que representan el conjunto de relaciones (expresadas en inecuaciones y ecuaciones) que algunas variables están obligadas a satisfacer.

2.1.5.1. Problema de ruteo

El problema de ruteo es comúnmente desarrollado en un problema de ruteo de vehículos o ruteo de vehículos con restricciones de capacidad (CVRP), entre otros. Las cuales son “un problema fundamental de optimización combinatoria con aplicaciones en la práctica logística” (Correa Espinal et al., 2011). En ese sentido se ha evidenciado avances respecto a su solución ya que estas involucran buenos algoritmo que ayudan a solucionar problemas de este tipo. Además Correa Espinal et al., (2011) menciona también que, el problema de ruteo de vehículos se formula como un problema de teoría de grafos.

2.1.5.2. Problema de asignación

El problema de asignación descrito en el libro de Hillier & Lieberman traducido en el año 2010, es un tipo especial de problema de programación lineal en el que los asignados son los recursos utilizados para realizar tareas, por lo que los asignados pueden ser trabajadores a quienes se tiene que dar trabajo, dichos asignados no solo tienen que ser personas sino que estos pueden ser máquinas, vehículos, plantas o incluso periodos a los que se asignan tareas. Los autores argumentan que, es necesario que este tipo de aplicaciones se formule de manera tal que se cumplan los siguientes supuestos:

- “El número de asignados que se representa por “n” es igual al número de tareas que se tiene”(Hillier & Lieberman, 2010, p. 309).

- “Se le asigna una sola tarea a cada asignado y a su vez cada tarea debe ser realizado solo por un asignado”(Hillier & Lieberman, 2010, p. 309).
- “Hay un costo representado por c_{ij} relacionado con el asignado i que realiza la tarea j donde i, j va de 1 a n ”(Hillier & Lieberman, 2010, p. 309).
- “El objetivo es determinar cómo deben hacerse las “ n ” asignaciones con la finalidad de minimizar los costos totales”(Hillier & Lieberman, 2010, p. 309).

2.1.6. Métodos para la solución de problemas de optimización

2.1.6.1. Métodos exactos

2.1.6.1.1. Método de Ramificación y Acotamiento

El método de ramificación y acotamiento para Hillier & Lieberman (2010) se apoya en la idea básica de dividir y conquistar, debido a lo difícil que es resolver de manera directa el problema original que se puede entender como un problema grande, este problema grande se divide en pequeños problemas hasta que estos se puedan vencer. Para los autores la ramificación se realiza mediante una división del conjunto completo de soluciones factibles en subconjuntos más pequeños y la conquista o sondeo como es conocido se realiza mediante el acotamiento de la mejor solución del subconjunto para posteriormente descartar los subconjuntos cuya cota denote que no es posible que contenga una solución óptima para el problema original.

Para utilizar este método Hillier & Lieberman mencionan que se tiene que realizar los siguientes pasos en cada iteración:

- **Ramificación:** Entre los subproblemas restantes se elige el de creación más reciente, es necesario resaltar que, en caso se presenten empates estos se rompen con el que tenga la cota más grande. Asimismo, se ramifica este nodo de ese subproblema para crear dos nuevos subproblemas luego de establecer la siguiente variable de ramificación.

- **Acotamiento:** Se obtiene la cota de cada subproblema, se aplica el método simplex (o el método simplex dual si se Re optimiza) al relajamiento de PL y el valor de Z se utiliza para la solución óptima resultante, si este valor de Z no es entero, se redondea a un entero; en caso sea un entero, esto no necesita ningún cambio, este valor entero de Z es el acotado para el subproblema.

- **Sondeo:** Se aplican la prueba 1, 2, 3 y la prueba de optimalidad a cada nuevo Subproblema y se descartan aquellos subproblemas que quedan sondeados por cualquiera de las pruebas mencionadas y descritas en lo siguiente.

Prueba 1: Donde su cota $\leq Z^*$, el cual Z^* es el valor de Z en la solución de apoyo actual.

Prueba 2: Donde su relajamiento de PL no tiene soluciones factibles.

Prueba 3: Para Hillier & Lieberman la solución óptima para su relajamiento de PL tiene valores enteros en todas sus variables restringidas a enteros por lo que, si esta solución es mejor que la de apoyo obtenida, esta se convierte en la nueva solución de apoyo y se aplica la prueba 1 con la nueva Z^* a todos los sub problemas no sondeados.

Prueba de optimalidad: Cuando no hay subproblemas restantes es cuando se termina el proceso y la solución de apoyo actual es óptima, de lo contrario, se realiza otra iteración.

2.1.6.2. Métodos heurísticos

Según De Antonio Suárez (2020) define a los métodos heurísticos como métodos eficientes para encontrar “buenas soluciones” aunque no se pueda comprobar que sean óptimas, en estos métodos, la rapidez del proceso es importante tanto como la calidad de la solución obtenida, por tanto, estos métodos heurísticos pueden ser usados en un problema de optimización, determinístico o no.

2.1.6.3. Métodos Metaheurísticos

“El termino metaheurística se obtiene de anteponer a heurística el sufijo meta que significa “más allá” o “a un nivel superior”” (Melián et al., 2003), por lo tanto los autores en su revista definen a la metaheurística como estrategias inteligentes para mejorar o diseñar procedimientos heurísticos muy generales con altos rendimientos, de los cuales se puede encontrar distintos tipos tal como se presentan en lo siguiente:

- Las Metaheurísticas de relajación: Se encuentran los métodos de relajación lagrangiana.
- Las Metaheurísticas constructivas: Se encuentra la voraz o GREEDY, la Metaheurística GRASP donde en la primera de sus dos fases, incorpora a la estrategia GREEDY.
- Las Metaheurísticas de búsqueda.
- Las Metaheurísticas evolutivas: como los algoritmos genéticos

2.1.6.3.1. Algoritmo GRASP

El algoritmo GRASP es un procedimiento adaptativo aleatorio codicioso, este algoritmo es una metaheurística que se ha utilizado cada vez más en diversas aplicaciones debido a su sencillez y eficacia. GRASP es un procedimiento de inicio múltiple, que consta básicamente de dos fases: construcción y post procesamiento. (Feo & Resende, s. f.)

Según Francisco et al., (2020):

La fase de construcción intenta construir una solución paso a paso, agregando un elemento a la vez, mientras que la fase de post procesamiento intenta mejorar esta solución. Al principio, solo se intentaba la búsqueda local, pero hoy en día otras técnicas como Scatter Search se han utilizado cada vez más para mejorar las soluciones. El proceso se repite muchas veces y la mejor solución general es guardado como el resultado. La fase de construcción es caracterizada por tres características principales:

Una función codiciosa: se utiliza para determinar qué elemento candidato debe agregarse a la solución parcial. Esta función mide el beneficio de seleccionar cada elemento a incluir en la solución, es decir, mide la contribución local de cada elemento candidato a la solución parcial.

Selección aleatoria: Todos los elementos que son candidatos para ser incluidos en la solución se ordenan en una lista con respecto a los valores de la función codiciosa. Luego el elemento es seleccionado entre los mejores candidatos en la lista, pero no necesariamente el mejor candidato. Esta técnica de elección permite el procesamiento a repetir para generar diferentes soluciones. La lista de los mejores candidatos se llama **lista de candidatos restringidos (RCL)** y puede estar formado por un número fijo de candidato (restricción de cardinalidad) o por aquellos elementos cuyos valores de la función codiciosa se encuentra en un rango preestablecido (restricción de valor).

Característica adaptativa: El procedimiento es adaptativo por que el beneficio (valor de la función codiciosa) de cada elemento se actualiza en cada iteración de la fase de construcción para incorporar la nueva información que se genera después de la selección del elemento anterior. Las soluciones generadas por una construcción GRASP no están garantizadas para ser localmente óptimo con respecto a definiciones simples de vecindario. Por lo tanto, casi siempre se recomienda aplicar una búsqueda local u otra técnica para intentar mejorar cada solución construida.

2.1.7. Algoritmo Genético

Arranz de la peña & Parra Truyol (s. f.) define al algoritmo genético como un método de búsqueda que imita la teoría de la evolución biológica de Darwin para resolver problemas, iniciando su proceso con una población inicial, para luego seleccionar los individuos más aptos, reproducirlos y mutarlos a fin de obtener la próxima generación de individuos mejor adaptados que la anterior generación.

Asimismo Sastry et al.,(2005) describen que los algoritmos genéticos codifican las variables de decisión de un problema de búsqueda en longitud finita de cadenas de alfabetos de cierta cardinalidad, por lo que denomina a las cadenas que son soluciones candidatas para el problema de búsqueda como **cromosomas**, los alfabetos se denominan genes y los valores de los genes se denominan alelos. Sin embargo, otro concepto importante del algoritmo genético (GA) es la noción de **población**. A diferencia de los métodos de búsqueda tradicional, los algoritmos genéticos se basan en una población de candidatos soluciones donde el tamaño de la población que suele ser un parámetro especificado por el usuario, es uno de los más importantes factores que afectan la escalabilidad y el rendimiento de los algoritmos genéticos, así el tamaño pequeño de la población puede llevar a la convergencia y rendimiento de soluciones deficientes. Por otro lado, un gran tamaño de población conlleva un gasto innecesario de valioso tiempo de cálculo.

En ese sentido una premisa importante para Arranz de la peña & Parra Truyol es conseguir que el tamaño de la población sea lo suficientemente grande para asegurar la diversidad de soluciones. Por ello, los autores indican que es recomendable generar la población aleatoriamente para obtener dicha diversidad, por lo contrario, se tendrá que tener en cuenta que se garantice una cierta diversidad en la población generada. Los principales pasos para desarrollar algoritmo es evaluar el puntaje de cada cromosoma que haya sido generado, permitir que los cromosomas que estén más aptos y con una alta probabilidad de reproducirse se reproduzcan (cruzamiento), así con una cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo cromosoma generado y finalmente organizar la nueva población, estos pasos básicos se repetirá hasta obtener una adecuada solución para el problema tratado o hasta que se cumpla el criterio de parada.

2.1.7.1. Selección

Según Gestal et al. (2010a) menciona que el algoritmo puede ser dividido en dos grandes grupos probabilísticos y determinísticos, sin embargo, el primer tipo de grupo adjudica estas posibilidades con un importante componente basado en el **azar**. Es en este grupo donde Gestal et al. describe que se encuentran la selección por ruleta o selección

por torneo, que por su importancia y por ser los más utilizados, se describen con detalle en esta sección:

Selección por Ruleta: Este método es bastante sencillo debido a que asigna a cada individuo de la población un porcentaje de la ruleta, de tal forma que la suma de todos porcentajes que están proporcionados a cada individuo sea igual a la unidad. Los individuos que sean los mejores serán los que recibirán una gran porción de la ruleta que los individuos que son considerados peores. Según los autores en su monografía publicado en el año 2010, la población esta ordenada basada al ajuste normalmente, es por ello que al inicio de la ruleta se encuentran las porciones más grandes, de esta manera para elegir un individuo solo es necesario obtener un número aleatorio entre el intervalo $[0,1]$. Esta forma de realizar este tipo de selección, es a su vez ineficiente a medida que el tamaño de la población aumenta, ya que en ese sentido se tendrá una complejidad de $O(n^2)$ con un riesgo de que el individuo peor sea seleccionado más de una vez. (Gestal et al., 2010)

Selección por torneo: El método consiste en elegir a los individuos genéticos considerando las comparaciones directas que existen entre sus genotipos, de los cuales se tienen dos versiones: torneo determinístico (selección de un número p de individuos al azar, comúnmente p es igual a 2 y se escogen los más aptos) y torneo probabilístico donde realiza un procedimiento similar al determinístico con la única diferencia que en lugar de seleccionar siempre el mejor selecciona haciendo uso de un número aleatorio entre el intervalo $[0,1]$, si el parámetro p (fijado para todo el proceso evolutivo y por lo general p toma valores en el rango $0.5 < p \leq 1$) es menor al número aleatorio, se escoge al individuo más apto y en caso contrario se elige al individuo menos apto. (Gestal et al., 2010c)

La participación de bastantes individuos en cada torneo como lo menciona Gestal et al. implica que la presión de selección sea elevada y los peores individuos tengan mínimas oportunidades de reproducción, por lo que se conoce como un caso particular llamado *elitismo global*, en este caso participan todos los individuos de la población, por lo que si el tamaño del torneo es reducido este se vuelve totalmente determinística, el cual

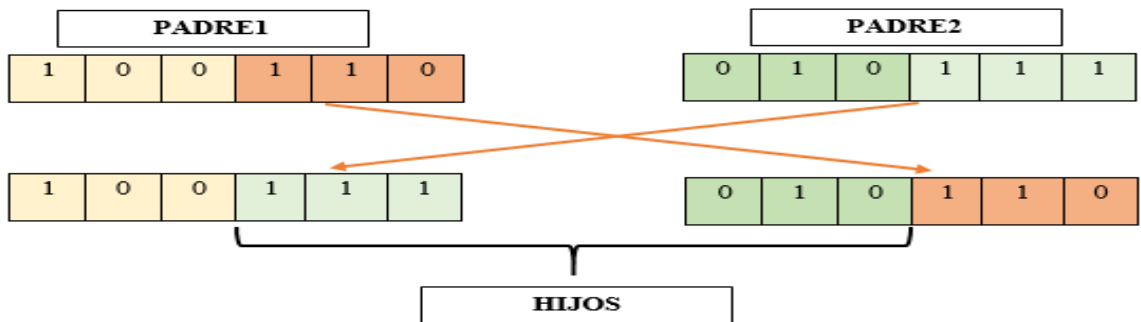
reduce la presión de selección y por consecuencia los individuos considerados peores tendrán más oportunidades de ser seleccionados.

2.1.7.2. Cruce o Recombinación

Es la recombinación para procrear la descendencia que será introducido en la generación siguiente, por lo que el cruce se basa en tomar dos individuos adaptados al medio de tal forma que la descendencia que se obtenga comparta los genes de los dos individuos seleccionados, sin embargo se debe considerar que hay una posibilidad de que los genes heredados sean justamente los causantes de la bondad de los padres.(Gestal et al., 2010d)

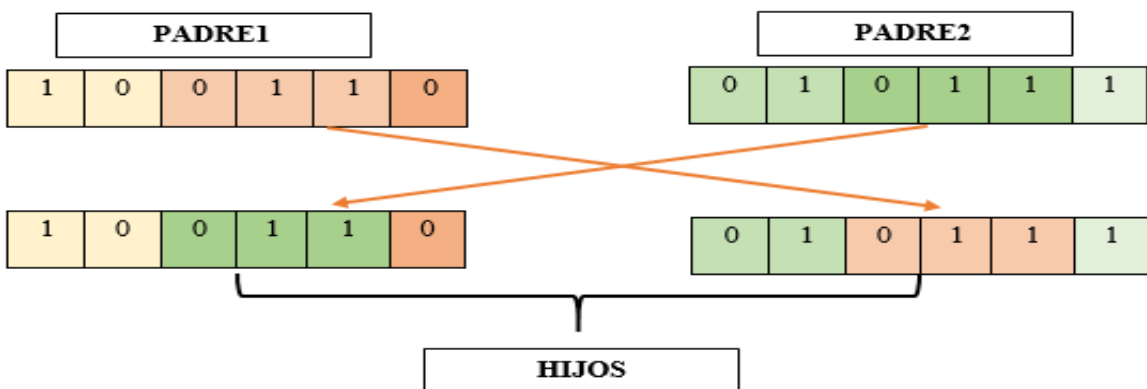
Existen un sin número de algoritmos de cruce. Sin embargo, los más empleados son los que se detallarán a continuación en la Figura 3, Figura 4 y Figura 5:

Figura 4. Cruce de un punto



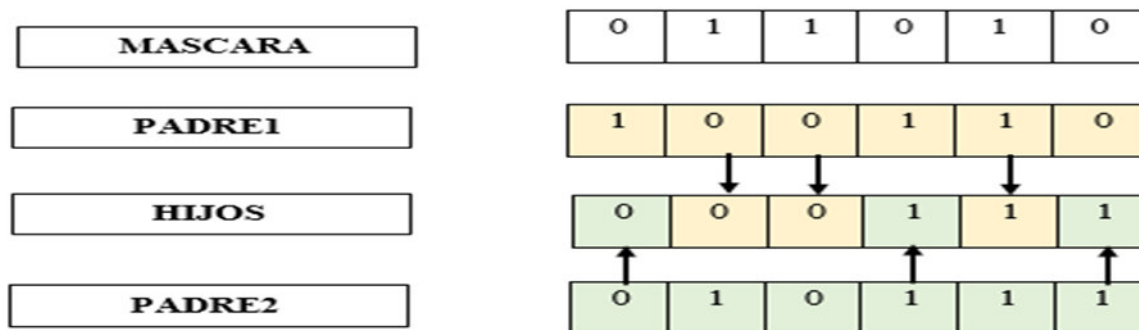
Nota. Elaboración propia

Figura 3. Cruce de dos puntos



Nota. Elaboración propia.

Figura 5. Cruce Uniforme



Nota. Elaboración propia.

2.1.7.3. Mutación

Sí usamos un operador de cruce, tal como el cruce de un punto (Figura 3), podemos obtener mejores y mejores cromosomas, pero el problema es que si los dos padres (o peor aún, toda la población) tienen el mismo alelo en un gen dado, el cruce de un punto no cambiará eso. En otras palabras, ese gen tendrá el mismo alelo para siempre. La mutación está diseñada para superar este problema, para agregar diversidad a la población y asegurar que es posible explorar todo el espacio de búsqueda. (Sastry et al., 2005, pp. 104-105)

La mutación consiste en seleccionar dos hijos, que resultaron al realizar el operador cruzamiento, dichos hijos resultantes deben tener generalmente una probabilidad P de mutación menor al 1 %, si esto ocurre se procede a realizar la mutación intercambiando de posición los genes escogidos de manera aleatoria de un cromosoma.

2.1.7.4. Evaluación

El Algoritmo Genético para su buen y correcto funcionamiento debe tener un método que muestre si los individuos de la población representan o no buenas soluciones al problema que se tiene y de ello se encarga la función de evaluación, el cual establece una medida numérica de la bondad de una solución, este recibe el nombre de ajuste o fitness. (Gestal et al., 2010, p. 26)

2.2. Antecedentes del estudio.

Hasta la fecha, se han llevado a cabo diversas investigaciones a nivel de licenciatura, maestría o doctorado, con el objetivo de proporcionar soluciones óptimas o cercanas a lo óptimo para problemas que puedan surgir. En este sentido, se ha realizado una exhaustiva búsqueda de investigaciones que no solo sirvan como orientación, sino también como referencia y respaldo para el desarrollo de la presente investigación, centrada en el sector de producción primario.

No obstante, se ha observado una escasez de publicaciones específicas en el ámbito del sistema de riego, especialmente en lo que concierne a la asignación y distribución del recurso hídrico mediante el uso de algoritmos genéticos con fines de mejora. Este enfoque destaca la singularidad y relevancia de la investigación actual en un contexto donde la información disponible se presenta limitada

2.2.1. Antecedentes internacionales

El artículo presentado por Carrión et al. (2003) El propósito de esta investigación fue gestionar eficientemente el recurso hídrico en el riego de diversos cultivos ubicados en Castilla La Mancha, España, mediante la aplicación del Modelo de Optimización Económica del Agua de Riego (MAPECO). El objetivo principal era aumentar la productividad en una zona regable, teniendo en cuenta la diversidad de cultivos y la gestión del riego. Los resultados revelaron que la remolacha azucarera registró las necesidades de agua más altas, junto con un coeficiente de variabilidad menor. Por el contrario, la cebada y el ajo mostraron necesidades de agua más bajas, alrededor de 350-400 mm, con un coeficiente de variabilidad superior al 20%. El modelo propuesto por los autores Carrión et. al. demostró ser útil al proporcionar resultados adecuados para el problema de optimización no lineal abordado. En el contexto de la presente investigación, se opta por utilizar algoritmos genéticos como herramienta para la gestión eficaz del agua. A diferencia del modelo de optimización económica del agua de riego, esta investigación se centra en una empresa de producción de paltos tipo Hass, con un solo productor y un enfoque específico en los factores prioritarios para la empresa. El objetivo es lograr una

distribución y asignación adecuada del agua a cada lote, considerando las necesidades particulares de la producción de paltos.

Además Solano Sabatier et al. (2008) en su artículo muestra como objetivo presentar una solución para la asignación de aulas a los cursos que se tienen en la Escuela de Ciencias de Computación e Informática de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Costa Rica para la reducción del tiempo, donde implementó la metodología del algoritmo genético y consideró factores como tipos de aulas, cantidad de cursos, entre otros. De esta manera, obtuvo resultados en los que, para algunos cursos, no fue posible asignarles aulas debido a las condiciones y requerimientos específicos que necesitaban. No obstante, logró obtener soluciones óptimas en un tiempo promedio de 4 segundos al implementar la metaheurística mencionada por Solano Sabatier et.al., (2008) la asignación de dichos cursos han sido satisfactorios debido a que se muestra claramente la reducción del tiempo de trabajo demandado de 1 semana o más a solo unos minutos teniendo una eficiencia en la utilización del recurso y de las soluciones para el problema presentado, en las que se pretende realizar una investigación futura considerando otras variables como la asignación de profesores. La presente investigación tiene también como una de sus dimensiones la asignación del recurso utilizando el algoritmo genético. Sin embargo, la investigación se enfoca en el área de producción y no al área académico, por tal motivo el recurso a ser asignado es el recurso hídrico considerando otras variables en las que se adapte al problema planteado y presentado en la empresa como las distancias del sector al reservorio, el tipo de terreno entre otros. Además, se utiliza como apoyo el algoritmo de GRASP que es útil para la generación de los lotes de terrenos aleatorios iniciales para la asignación de dicho recurso.

Cid García (2012) presentó una herramienta de modelación matemática que ayude a determinar la superficie y el patrón de cultivo óptimo a ser sembrado en un sistema de irrigación apoyándose con herramientas tecnológicas y sensores de humedad para maximizar el beneficio del productor y optimizar la cantidad de agua y de recursos que se tienen disponibles. Para ello la investigación se dividió en 2 etapas: la primera etapa se enfocó en la planificación de los productos a sembrar y la segunda etapa se centró en la optimización del recurso teniendo en cuenta la cantidad de agua disponible. De esta

manera se realizó modelos matemáticos apoyados del método de Ramificación y Acotamiento (CPLEX) teniendo como resultados la disminución de 1,000 m³ la esperanza de la cantidad de agua disponible para una de las instancias, para la segunda etapa en la mayoría de las instancias se evidenció un rendimiento del agua por encima del 90 %, concluyendo así que los modelos propuestos para cada etapa son eficaces y eficientes para tomar decisiones adecuadas en cuanto a lo presentado. La presente investigación también se enfoca en la optimización del recurso hídrico teniendo en cuenta los factores similares a los que presentó Cid (2012). Sin embargo, la presente investigación no es abordado con una herramienta exacta como programación entera mixta sino se enfoca solo en el uso del algoritmo genético y el algoritmo GRASP para la optimización del recurso disponible donde se considera 2 dimensiones las cuales son: diseño de rutas de riego y la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno. Cabe resaltar que no se realiza una planificación de siembra debido a que solo se cuenta con un solo tipo de cultivo.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

La tesis publicada por Pizarro, A. (2015). Titulada "Implementación de un algoritmo genético para optimizar la distribución del agua en el riego de cultivo", tuvo como objetivo realizar una adecuada distribución del recurso hídrico en el riego de cultivos considerando factores relacionados directamente con la siembra desde el crecimiento hasta la etapa de la cosecha. Para ello utilizó áreas de la guía PMBOK tales como la gestión del tiempo y la gestión de los riesgos para luego hacer uso de las Metaheurísticas Algoritmo Genético y Algoritmo GRASP, donde mediante la comparación de estos algoritmos se realizó una calibración de sus parámetros con diferentes experimentos, se modificó su valor en intervalos distintos con el fin de ayudar a obtener una ejecución adecuada en estos algoritmos, obteniendo con esto un parámetro alfa de 0.46 con un número de iteraciones de 4000 para el algoritmo GRASP y un valor de tasa de cruzamiento de 0.85, tasa de mutación 0.12 para el Algoritmo Genético con lo cual logro una mejora de un 14 % en la función fitness del algoritmo genético con respecto al algoritmo GRASP de esta forma los algoritmos que fueron implementados resolvieron el problema presentado en el trabajo, teniendo una mejor distribución y alta utilidad del recurso. En la presente investigación se usa también el algoritmo genético y el algoritmo

GRASP para la distribución del recurso hídrico. Sin embargo, se utiliza el algoritmo GRASP solo como apoyo para obtener la población inicial de lotes de terrenos a considerar, gracias al algoritmo genético se brinda una ruta más adecuada para distribuir el recurso hídrico, por lo que todos los lotes considerados son regados, además se adiciona el desarrollo de la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno que complementa a la optimización del recurso. Por tal motivo la investigación solo se centra al diseño y estructura del algoritmo genético y no en su implementación.

La tesis de Tejada, G. (2017) quien presentó "Enrutamiento y secuenciación óptimos en flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos" tuvo como objetivo proponer una solución óptima al problema de programar (Scheduling) el procesamiento de un conjunto de tareas (Jobs) en un conjunto de máquinas de una manufactura tipo Flexible Job Shop (FJS-Taller Flexible) por lo que dividió el problema en dos sub-problemas: En un problema de enrutamiento que tiene como enfoque designar tareas a cada máquina y en un problema de secuenciación que con el apoyo de las rutas encontradas del primer sub problema encontró el orden de realizar cada tarea, esto con la finalidad de minimizar los objetivos del Maximum Workload que es la carga de trabajo total de las máquinas, Total Workload que es la carga de trabajo de la máquina más cargada y Makespan que es el tiempo de terminación de procesamiento de todos los Jobs mediante la utilización de Algoritmos Genéticos para posteriormente realizar una comparación de sus resultados con soluciones dadas por otros investigadores. De esta manera los 5 casos planteados por Kacem (2002) fueron solucionados también por el tesista mostrando resultados que en FJSSP 15x10 que es el caso donde se tiene 15 Jobs y 10 máquinas tuvo un Makespan (CM) de 12 a diferencia a las propuestas de otros investigadores que alcanzaron un CM de 11. Sin embargo, para el tesista Tejada Muñoz los tiempos de ejecución de estos algoritmos de los casos restantes que fueron propuestos por otros investigadores es superado por el autor, lo cual mostró la eficacia y la eficiencia del algoritmo obteniendo buenos resultados cumpliendo con el objetivo propuesto. La presente investigación se fracciona también en dos sub problemas utilizando para ello la Metaheurística algoritmo genético; sin embargo, los resultados obtenidos son comparados con la política de riego que tiene la empresa y no con soluciones obtenidas por otros investigadores que aborden el mismo enfoque utilizando la misma herramienta, dicho

esto, la problemática que se desarrolla está enfocada al sector productivo y es propia de la situación que pasa la empresa en la actualidad, por esta razón la finalidad de ello es mejorar el uso del recurso hídrico con el que se dispone para el riego de todos los lotes considerando la asignación del recurso y las rutas.

Castillo Huerta (2018) presenta el uso de un algoritmo genético en su tesis con la finalidad de gestar un conjunto de rutas óptimas para el transporte de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) que permitan movilizar a los estudiantes desde el campus principal hasta sus hogares y viceversa haciendo uso de la metodología de PMBOK quinta edición, aplicando solo 4 áreas de conocimiento necesarias para la investigación tales como la gestión del tiempo, gestión de la comunicación, gestión de los riesgos y la gestión de alcance. Así mismo realizó una herramienta utilizando un algoritmo genético tomando al algoritmo basado en PIA (Algoritmo de inserción de pares) para generar la población inicial de las rutas así mediante la comparación de sus medias ($MePIA = 251,252.37$, $MeGE = 300,114.68$) resultó que el algoritmo genético mejoró a un 20 % las soluciones brindadas inicialmente por algoritmo PIA concluyendo así que el algoritmo PIA fue muy bueno en cuanto a la generación de soluciones iniciales pero en algunos casos no indicaba la mejor ruta como en el caso del algoritmo genético que tomando en cuenta las soluciones iniciales cumplió eficientemente con el objetivo planteado. Para la presente investigación se lleva a cabo la generación rutas haciendo uso del algoritmo genético; sin embargo, el algoritmo genético que se utiliza tiene como apoyo para las soluciones iniciales de las rutas, al algoritmo de GRASP y no al algoritmo basado en PIA que es la herramienta utilizada por el tesista. Así, el enfoque de estudio es obtener rutas para un sistema de riego de producción de paltos donde el recurso a transportar es el recurso hídrico. Esto le permite a la empresa tener un mejor control del recurso hídrico teniendo como población demandada a las plantaciones que existen en los lotes de terrenos a considerar.

2.3. Marco Conceptual

Para la investigación es necesario definir algunos términos relacionados con el enfoque y el problema abordado, esto permite al lector tener una mejor comprensión del estudio:

2.3.1. Recursos Naturales

“Los principales elementos de la naturaleza que el ser humano aprovecha en el Perú, son descritos por el tema de los recursos naturales del Perú” (*MINAGRI*, 2020).

2.3.2. Recurso Hídrico

El recurso hídrico se define como “un recurso natural renovable, esencial para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y de la seguridad de la Nación” (Autoridad Nacional del Agua, 2019, p. 12).

2.3.3. Suelo

La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura *FAO* (2020) indica que el suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales, animales, aire y agua.

2.3.4. Agricultura

FAO (2020) define a la agricultura tradicional como prácticas agropecuarias indígenas, consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos y que muestran un nivel alto de sentido ecológico expresado a través del uso intensivo de los conocimientos y recursos naturales autóctonos, lo cual, la *FAO* describe que incluyen la gestión de la agro biodiversidad mediante sistemas agropecuarios diversificados.

2.3.5. Riego

FAO (2020) define al riego como la aplicación artificial de agua para ayudar al crecimiento de los cultivos, este se puede realizar aplicando agua sobre la tierra (riego de superficie) también se puede aplicar pulverizando agua a presión sobre la tierra (riego por aspersión) o aplicando el agua directamente a la planta (riego localizado).

2.3.5.1. Riego focalizado

El riego focalizado definido por la FAO es un sistema por el que el agua se distribuye a baja presión por una red de tuberías con un patrón predeterminado, y se reparte en pequeñas cantidades a cada planta o cerca de ella y para ello existen tres categorías principales: riego por goteo (se colocan goteros para aplicar el agua lentamente a la superficie del suelo), riego por aspersión y riego con pequeños surtidores (donde se aplica un pequeño flujo de agua para inundar pequeños compartimientos o el suelo contiguo a cada árbol).

2.3.5.2. Riego por goteo

Según *FAO* (2020) define que “El riego por goteo es un método de riego en el que se suministra el recurso hídrico en pequeñas cantidades a las plantas o cerca de ellas mediante goteros”.

2.3.6. Escasez de Recurso hídrico

La escasez del recurso hídrico es un concepto más relativo que describe la relación entre la demanda de agua y disponibilidad. Las demandas pueden variar considerablemente entre diferentes países y diferentes regiones dentro de un país dado, dependiendo del uso sectorial del agua. Por tanto, un país con una alta demanda industrial o que depende del riego a gran escala tendrá más probabilidades de experimentar tiempo de escasez que un país con condiciones climáticas similares sin tales demandas. (*FAO*, 2020)

2.3.7. Gestión del Recurso hídrico

La gestión del recurso hídrico es el control específico de todas las intervenciones del hombre en las aguas superficiales y subterráneas por lo que todas las actividades de planificación que están relacionadas con el agua se pueden considerar gestión hídrica en el sentido más amplio del término.(FAO, 2020)

2.3.8. Uso eficiente del Recurso hídrico

La eficacia en el uso de recurso hídrico de riego es la cantidad de biomasa o rendimiento de semillas producidas por unidad de agua de riego aplicada, que suele ser de aproximadamente 1 tonelada de materia seca por cada 100 mm de agua empleados.

2.3.9. Despilfarro

Según la Real Academia Española (s. f.) define al termino despilfarro como un gasto excesivo y superfluo.

2.3.10. Herramientas

2.3.10.1. *PyCharm*

Es un Entorno de desarrollo integrado (IDE) que garantiza lo esencial proporcionando funcionalidades indispensables como la colaboración sintáctica, el autocompletado de código, así como la detección de errores o advertencias. También permite acceder al código fuente de un objeto. Además, permite formatear rápidamente y de manera eficaz el código fuente y proporciona una multitud de pequeñas funcionalidades que facilitan la escritura y el mantenimiento del código. El proyecto realiza muchas comunicaciones, en particular a través de Planet Python.(Chazallet, 2016, p. 109)

2.3.10.2. *Python*

El uso de este lenguaje para la presente investigación se justifica porque es un lenguaje de propósito general, aplicándose en muchos campos de muy diferente naturaleza. Especialmente interesante en su crecimiento en el área científica, donde se

encuentra proyectos de más alto nivel además es un lenguaje interpretado y orientado a objetos. Su filosofía se basa en una sintaxis simple, limpia, en potentes y extensibles librerías.(Cuevas Álvarez, 2019, pp. 14-15)

2.3.10.3. *Software IBM SPSS Statistics*

Es el software estadístico líder en el mundo el cual le permite profundizar rápidamente en sus datos, lo que la convierte en una herramienta mucho más eficaz, en ese sentido permite a los usuarios sacar conclusiones y hacer predicciones ya que maneja tareas como la manipulación de datos y los procedimientos estadísticos en un tercio del tiempo de muchos programas no estadísticos.(SPSS Statistics - Visión general, s.f.)

2.3.10.4. *Microsoft Excel*

Es un programa que permite organizar datos, crear plantillas, realizar cálculos, y mostrar datos mediante gráficos el cual permite al usuario entender mejor la información. Así mismo, permite realizar pronósticos entre otros a través de fórmulas.(Microsoft, s. f.)

CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El uso del algoritmo genético genera mejores soluciones al uso del recurso hídrico en el fundo de paltos “El Silencio”.

3.1.2. Hipótesis Específicas

1. El uso del algoritmo genético mejora la distribución del recurso hídrico en el fundo de paltos “El Silencio”.
2. El uso del algoritmo genético mejora la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno del fundo de paltos “El Silencio”.

3.2. Variables

La investigación presenta variables que pueden ser visualizadas en la siguiente formulación:

$$y = f(x)$$

(Mejorar el uso del recurso hídrico)

= f(Diseño del algoritmo genético para un mejor uso recurso hídrico)

Donde:

La variable independiente

x: Diseño del algoritmo genético para un mejor uso del recurso hídrico

La variable dependiente

y: Mejorar del uso del recurso hídrico

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Matriz operacional de las variables

Tabla 1.

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Mejorar el uso del recurso hídrico	Es la forma de reducir la demanda de recurso hídrico evitando desperdicios, disminuyendo consumos así como también considerando técnicas de administración del recurso (Haro Cando & Vallejos Suárez, 2012)	Consiste en reducir los despilfarros de recurso hídrico que se puede producir en el proceso de riego considerando factores a fin de tener un beneficio mayor a la situación actual de la empresa	Despilfarros	Cantidad de recurso hídrico ahorrada (litros)
Diseño del algoritmo genético para un mejor uso del recurso hídrico	El algoritmo genético es un método poblacional de búsqueda dirigida basada en la probabilidad a fin de encontrar mejores soluciones del problema a optimizar (Batista et al., 2009, p. 33)	El uso del algoritmo genético consiste en asignar recurso hídrico a cada lote y generar alternativas de rutas para el riego de los lotes en el fundo	Asignación de recurso hídrico a cada lote	- Tiempo de riego para cada lote (minutos) - Cantidad de recurso hídrico asignado (litros)

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

La unidad de análisis de la presente investigación son los lotes en una empresa dedicada a la producción de paltos. El objetivo es determinar una secuencia de riego para los lotes, al mismo tiempo que se asigna de manera eficiente el recurso hídrico a cada uno de ellos, teniendo en cuenta sus requerimientos individuales y considerando diversos factores, tales como el tipo de terreno y la disponibilidad de agua. El propósito fundamental es optimizar el uso de este recurso crucial para la producción agrícola, asegurando una gestión eficaz y sostenible.

4.2. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Descriptivo, según Arias (2012), este tipo de investigación tiene como propósito conocer los procesos, las características y el comportamiento de lo que se observa, lo cual permite tener información precisa del sistema. De esta manera la investigación recolecta información sobre el tiempo de riego de cada lote, tomado como muestra, entre otros factores e información que se deben tomar en consideración para su análisis.

Aplicada, “Se busca siempre llevar a la práctica los resultados obtenidos al aplicar los conocimientos de una teoría adecuada para resolver el problema identificado” (Ríos, 2017, p. 88). En ese sentido el trabajo de investigación tiene como objetivo optimizar el recurso hídrico recolectando los datos necesarios para posteriormente aplicar las teorías

de metaheurísticas con técnicas de investigación operativa e identificar posibles soluciones al problema identificado en el fundo.

Diseño de la investigación

Observacional (No experimental), La presente investigación es de diseño no experimental debido a que, “el diseño no experimental estudia las variables sin ser alteradas o manipuladas, es decir en su forma natural” (Arias & Covinos, 2021, p. 78). Por ello, la investigación realiza lo citado con la finalidad de obtener y analizar los resultados que ayuden a solucionar el problema expuesto sin tener la necesidad de manipular las variables que se toman en cuenta.

Transversal, “las investigaciones con este diseño tienen la característica de realizarse en un corto periodo o en otras palabras en un determinado tiempo” (Ríos Ramírez, 2017, p.85). Por lo que, la obtención de datos y el análisis de estas para la investigación, se realizó en un tiempo determinado.

4.3. Población y muestra

Población

La población es “un conjunto finito o infinito de elementos que tienen características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación”(Arias Odon, 2012, p. 85). En ese sentido, en la investigación dicha población está conformada por 12 sectores del fundo de paltos “El silencio”, los cuales cada sector se encuentra dividido por lotes y cada lote cuenta con plantaciones de paltos mayores a cincuenta.

Muestra

La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible el cual se desprende la muestra probabilística y no probabilística, este último definido como un procedimiento de selección donde no se conoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar a la muestra(Arias Odon, 2012, p. 85). La investigación se basa en una muestra no probabilística por conveniencia, seleccionando

4 sectores (Pampas, Oyada, Faldera y Comunal) para la facilidad del estudio. Dentro de estos sectores, se ha trabajado con un total de 11 lotes de terreno identificados como L1, L2, L3, ..., L11, conforme se detalla a continuación:

- Pampas: L1, L2 y L3
- Oyada: L4
- Faldera: L5, L6, L7, L8 y L9
- Comunal: L10 y L11 (ver Anexo 2)

4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección

Procedimientos:

En la investigación, después de definir la unidad de análisis y el tipo y diseño de investigación, respaldados por referencias bibliográficas que contribuyeron a buscar una solución efectiva al problema, así como de establecer la población y muestra para delimitar la investigación, se procede a la fase de recolección de datos. En este contexto, se especifican las técnicas e instrumentos utilizados, los cuales se detallan a continuación.

Técnicas:

Las técnicas de investigación según Ramos Chagoya, (2020) La recolección de datos se define como indispensable para este proceso, ya que a través de este se obtiene y organiza la información necesaria para la investigación. Se distinguen dos formas de recolección de datos: la técnica documental, que hace uso de documentos que respaldan y sustentan el estudio de fenómenos y procesos; y la técnica de campo, que implica el contacto directo con el objeto de estudio mediante la observación, permitiendo así la comparación entre la teoría y la práctica.

En la presente investigación, se han considerado dos técnicas específicas para la recolección de datos: la entrevista y la observación. Estas técnicas, utilizadas de manera conjunta, contribuyen a recopilar la información necesaria para su posterior análisis. La

entrevista proporciona perspectivas directas a través del diálogo con actores relevantes, mientras que la observación permite la obtención de datos a partir de la interacción directa con el objeto de estudio, facilitando así una visión más completa y precisa del fenómeno en cuestión.

Instrumentos:

“Los instrumentos de recolección de datos son medios en la que se registra o almacena la información adquirida, estas pueden ser un papel o dispositivo”(Arias Odón, 2012, p. 68). Por tanto, los instrumentos realizados y desarrollados en la investigación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.

Instrumentos de recolección de datos

Técnica	Instrumento	Fuente
Entrevista	Protocolo de entrevista	Primaria
Observación	Guías de observación por lote	Primaria

Recolección de datos

El proceso de recolección de datos se realizó inicialmente con la autorización y la colaboración de las personas encargadas del fundo. Se utilizaron instrumentos tales como el protocolo de entrevista y la guía de observación con la finalidad de almacenar dichos datos recolectados. Cabe mencionar que los datos que se mostrarán a continuación no han sido brindados directamente de la base de datos de la empresa, esto debido a que dicha empresa no cuenta con un registro pues se encuentra en proceso de formalización. Finalmente, los datos obtenidos fueron los que se utilizaron para el funcionamiento del algoritmo genético y la posterior comparación de resultados.

4.5. Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se recolectó la información mediante los instrumentos de recolección de datos mencionados anteriormente. El objetivo de esta recopilación fue organizar la información en Microsoft Excel. Posteriormente, esta información se utilizó para procesarla en el modelo y en el diseño del algoritmo. La información obtenida y procesada resulta fundamental para obtener resultados que serán comparados con la política empírica de riego establecida por la empresa.

Es importante señalar que en el análisis estadístico se emplean diversas pruebas, entre ellas la prueba de Shapiro Wilk y la prueba t-Student para la diferencia de medias. Estas pruebas, utilizadas en conjunto, contribuyen a validar las hipótesis planteadas en la presente investigación. Además, todo el proceso de manejo de información de la empresa se lleva a cabo con una base de datos obtenida con la autorización correspondiente, permitiendo la identificación precisa de la población y muestra consideradas en este estudio.

4.6. Aplicación del algoritmo genético

Se aplicó la Metaheurística GRASP en dos fases:

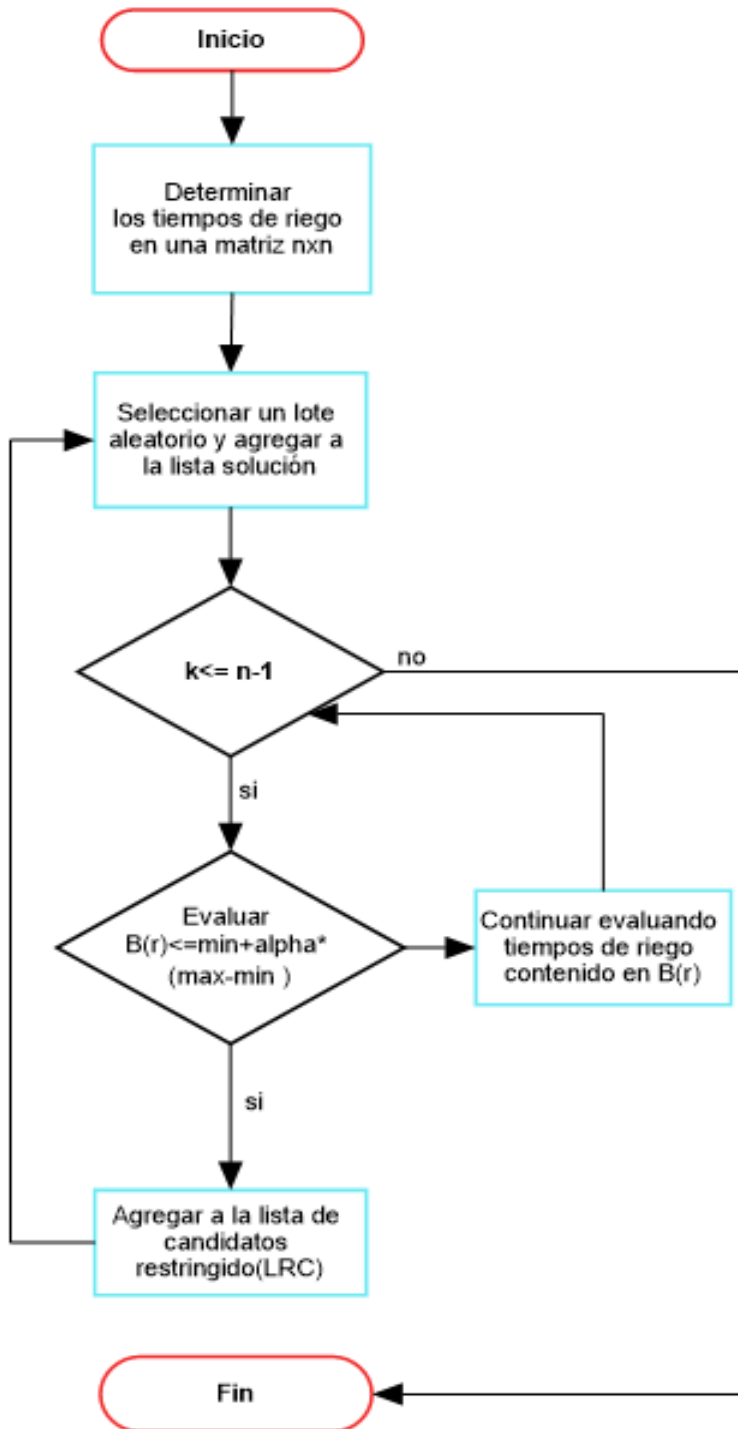
Fase 1: Se construyó una solución inicial aleatoria de la ruta de riego para los 11 lotes

Fase 2: Se utilizó el algoritmo genético para mejorar la solución de la fase 1

4.6.1. Diagramas de flujo del algoritmo GRASP

A continuación, en la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo del Algoritmo GRASP, algoritmo que se utilizó como apoyo para generar aleatoriamente la población inicial utilizada en el Algoritmo Genético mismo que se presenta en la Figura 7.

Figura 6. Diagrama de flujo de Algoritmo GRASP

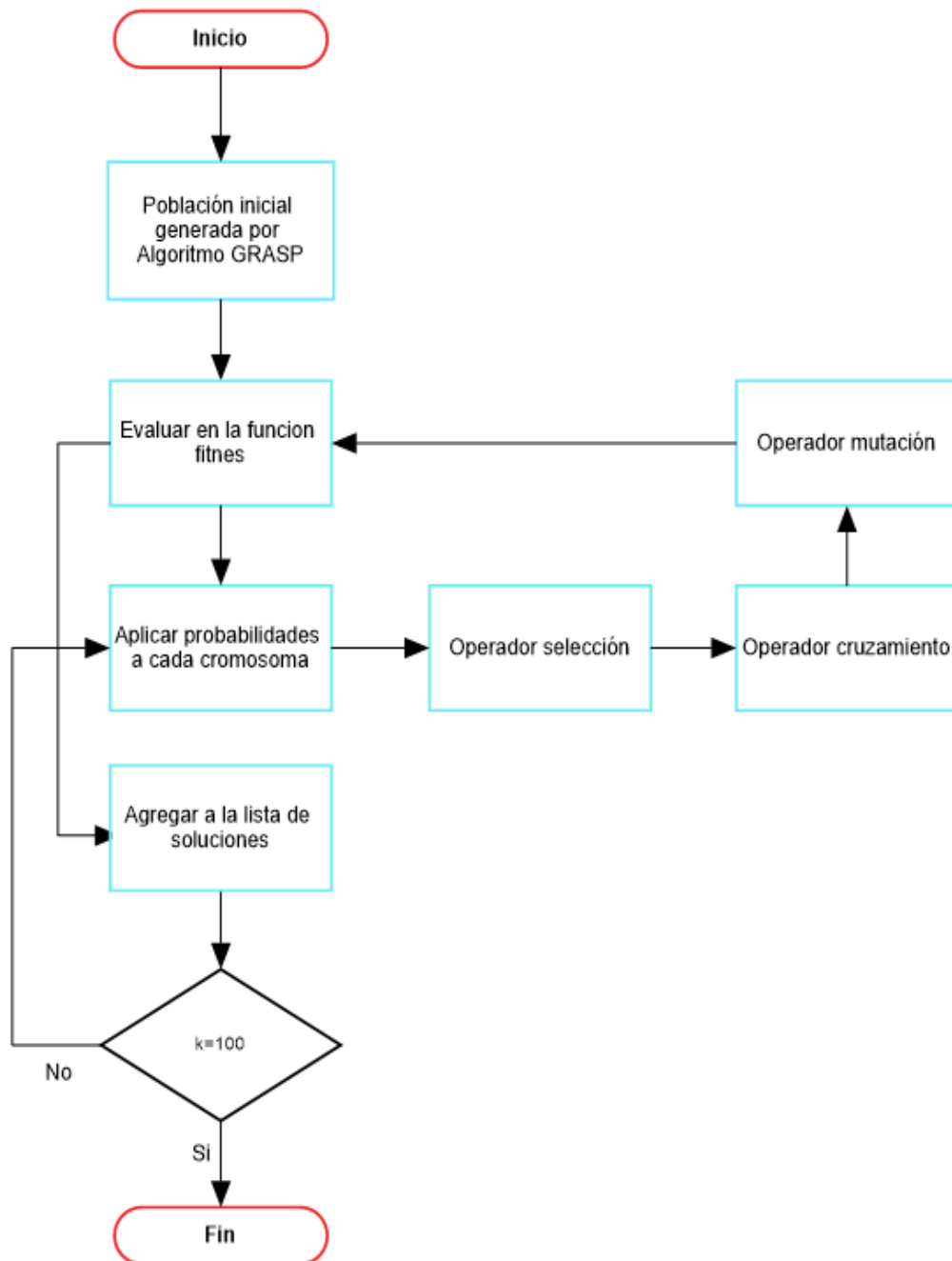


Nota. El proceso del Algoritmo GRASP termina cuando el número de iteraciones (k) es mayor a $n-1$ (dimensión de la matriz de tiempos).

Como se muestra en la Figura 6 el algoritmo GRASP inicia teniendo en cuenta una matriz de tiempos de riego de cada lote considerando algunos factores mencionados anteriormente, seguidamente se escoge una fila de manera aleatoria de la matriz, que contiene los tiempos de cada lote con el que empieza el algoritmo, dicha fila con los tiempos de los lotes se almacenan en la lista $B(r)$, donde r es la posición dentro de la lista, estos tiempos pertenecientes a la lista son evaluados en una ecuación de minimización (minimizar despilfarros y tiempos de riego) para luego establecer una lista de candidatos restringidos denotado en la investigación como LRC, de las cuales solo se consideraran los lotes que cumplan con la ecuación dada. Posteriormente, se escoge al azar un solo candidato de la lista LRC para agregarlo a una nueva lista de solución, este proceso seguirá hasta realizar $n-1$ iteraciones, donde n es la dimensión de la matriz. Al terminar estas iteraciones el algoritmo finaliza brindando una población inicial aleatoria, con lo que el algoritmo genético inicia proceso de mejora realizando todos sus operadores básicos.

4.6.2 Diagramas de flujo del algoritmo genético

Figura 7. Diagrama de flujo del Algoritmo Genético



Nota. El proceso del Algoritmo Genético termina cuando alcance el número de iteraciones ($k \sim 100$).

Como se muestra en la Figura 7, el algoritmo genético inicia tomando la población aleatoria generada por el algoritmo GRASP; cada individuo de esta población es decir, secuencia de riego generada (cromosomas) es evaluada en la función fitness para posteriormente aplicar probabilidades a cada cromosoma donde se da inicio al operador de selección en esta sección se selecciona aleatoriamente dos cromosomas (rutas de riego) en cada iteración para realizar el operador cruzamiento considerando una máscara de ceros y unos, dicha mascara se utiliza como referencia de cruce de los cuales el valor de cero describe la herencia de los genes (lote) del primer cromosoma tomado y el valor uno describe la herencia de los genes (lote) del segundo cromosoma tomado a fin de obtener una nueva solución de secuencia de riego (hijos) (ver Figura 5), seguidamente se da inicio al operador mutación por lo cual para la muestra tomada de once lotes se escogió aleatoriamente dos lotes para ser intercambiados de posición y así obtener las nuevas soluciones para finalmente evaluarlo en la función fitness. Este proceso se repite k (número de iteraciones) veces, considerado en la investigación con el valor de 100 ya que a mayores iteraciones esta realiza un lento procesamiento de los datos.

CAPITULO V

5.1. Valores de entrada

A continuación, se presenta los valores de entrada para la investigación: tiempo de riego, ingreso total por lote, costos, y los supuestos

a) Tiempo de riego

Se presenta la tabla de tiempos lo cual se obtuvo por medio de la observación y fueron recolectados en una guía de observación para cada lote.

Tabla 3.

Tiempo de riego expresado en minutos

SECTOR	LOTES	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
Pampas	L1	0	110	100	98	115	92	102	100	90	105	104
	L2	98	0	100	95	110	105	100	98	89	95	80
	L3	60	62	0	70	70	72	80	75	70	80	78
Oyada	L4	76	90	85	0	80	88	95	92	86	102	105
	L5	100	105	92	95	0	100	90	120	120	90	95
	L6	95	90	85	90	100	0	100	98	95	130	130
Faldera	L7	82	95	102	110	115	88	0	95	98	100	97
	L8	90	92	86	80	100	90	90	0	92	110	120
	L9	95	90	85	85	90	95	89	95	0	95	100
Comunal	L10	120	115	125	110	130	122	109	99	118	0	121
	L11	120	132	125	130	130	128	130	130	128	120	0

Nota. Matriz de tiempo que se incurre al iniciar el riego del lote i hasta antes de iniciar el riego del lote j donde $i, j = L1, L2, \dots, L11$ para $i \neq j$

Como se observa en la Tabla 3 el tiempo que se consume en regar el lote i hasta llegar al lote j no es el mismo que se consume en regar el lote j hasta llegar al lote i; esto debido a que la empresa trabaja y considera la pendiente, el tipo de terreno, la cantidad de plantas entre otros factores ya que todo ello dependerá de la ubicación en la que se encuentra cada lote de terreno. Es preciso señalar que, a pesar de que los sectores tomados como muestra son contiguos este es independiente a la secuencia de riego de los lotes que contiene cada sector.

b) Ingreso total por lote

Los ingresos totales de cada lote fueron obtenidos considerando la cantidad de plantas de cada uno de ellos, el promedio de frutos por lote, el cual se obtuvo realizando el conteo de frutos de las plantas seleccionadas por cada lote y el costo de venta por kilo como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Ingreso total de lotes

SECTOR	LOTES	NÚMERO PLANTAS	PROM. FRUTOS (kg)	COSTO/KG (S/)	T. INGRESO (S/)
Pampas	L1	193	17	7.20	23,623.20
	L2	166	15	7.20	17,928.00
	L3	53	14	7.20	5,342.40
Oyada	L4	156	18	7.20	20,217.60
	L5	112	22	7.20	17,740.80
	L6	125	21.7	7.20	19,530.00
	L7	141	21	7.20	21,319.20
Faldera	L8	162	20.5	7.20	23,911.20
	L9	131	21.5	7.20	20,278.80
	L10	402	16	7.20	46,310.40
Comunal	L11	570	15	7.20	61,560.00

Nota. Ingreso total de cada lote considerando la cantidad de plantaciones en cada una de ellas, promedio de frutos por planta y costo.

Como se observa en la Tabla 4, los ingresos brindados por cada lote son ingresos aproximados ya que como se mencionó se tomó una planta aparentemente con mayor fruto en cada lote para luego proceder a contabilizar y obtener el promedio de frutos hecho que se realizó en el mes de febrero mes de cosecha luego de 9 meses de preparación.

c) Costos

Los costos se han ordenado inicialmente con el nombre y el costo de cada producto utilizado durante el periodo de 9 meses en el que se realizan 4 procesos de fertilización, para cada fertilización se estimó la cantidad en gramos y el costo de cada producto. Así mismo se tomó en cuenta costos adicionales como el personal para quitar hierbas que crecen en cada plantación, personal de riego y personal de fertilización, dichos datos se observan en Anexo 4. Finalmente, es preciso mencionar que no se toma en cuenta costo del agua debido a que el agua es adquirida de una quebrada, dicha quebrada abastece no solo al fundo sino a otros productores.

d) Análisis de supuestos

En la presente investigación, se consideran diversos supuestos para el desarrollo del algoritmo, los cuales incluyen el tipo de suelo de cada lote, la pendiente del terreno en cada parcela del fundo, el método específico de riego tecnificado empleado, la edad de las plantas, el número total de plantaciones en cada lote y las condiciones climáticas. Estos supuestos son fundamentales para obtener un promedio de la cantidad de agua consumida en cada lote de terreno, de acuerdo con la secuencia de riego establecida por el fundo. Es importante destacar que estos supuestos fueron establecidos en colaboración con ingenieros que forman parte del equipo en el fundo. La experiencia y conocimiento de estos profesionales contribuyeron a la formulación de supuestos pertinentes y realistas que respaldan el diseño del algoritmo y la ejecución de la investigación.

5.2. Modelo Matemático

Para el desarrollo del algoritmo genético propuesto, es necesario contar con un modelo matemático de tal forma que se encuentre la solución óptima. Asimismo, la investigación pretende optimizar el recurso hídrico haciendo uso de los tiempos de riego

que se designa a cada lote de terreno en la empresa considerando la disponibilidad de agua con el que se cuenta para ello se requiere una función objetivo que minimice el tiempo de riego considerando también los requerimientos de agua que se necesita para cada lote. Por tanto, la función objetivo se considera también como la función fitness se expresa de la siguiente manera:

$$MIN \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n \frac{T_{ij} * C_i}{B_i}$$

Como se observa en la expresión pretende ser minimizada por lo que se requiere reducir el tiempo, reducir el costo y aumentar el beneficio. Además, en el momento de seleccionar los terrenos para realizar la secuencia de riegos y saber cuál es la cantidad de agua asignar a cada lote estos tendrán como restricción la disponibilidad de recurso hídrico (DRH) expresada de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^M R_i \leq DRH$$

Donde:

T_{ij} : Representa el tiempo que se demora en regar el lote i para continuar regar el lote j

C_i : Representa el costo que demanda en mantener el lote i hasta su cosecha.

B_i : Representa el beneficio que brinda cada lote de terreno que tiene en los sectores

R_i : Variable de decisión, cantidad del recurso hídrico para cada lote.

5.3. Diseño estructural del Algoritmo Genético

En la presente investigación la estructura se ha desarrollado en base a la problemática encontrada de manera específica, donde usó estructuras para el desarrollo del algoritmo. Así como cada algoritmo cuenta con sus propias estructuras, el algoritmo genético cuenta con las siguientes:

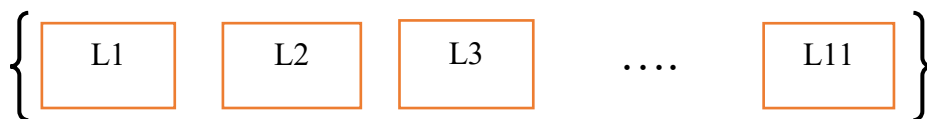
a) Cromosoma

En la investigación el problema que se trata de resolver es la distribución y la asignación del recurso hídrico mediante el uso del algoritmo genético, seleccionando lotes considerados en la muestra. Además, cada lote cuenta con sus propias características y factores ya mencionados por lo que cada cromosoma en la investigación representa una solución al problema abordado.

b) Gen

El gen del cromosoma para el problema abordado está representado por cada lote de terreno nombrados en la investigación como L1, L2, ..., L11 por lo que el conjunto de genes forma un cromosoma. Además, esta estructura está representada de forma secuencial con la cual posee una longitud igual a la cantidad de lotes; para la programación se trabajó con la posición de cada vector.

Figura 8. Representación de lotes

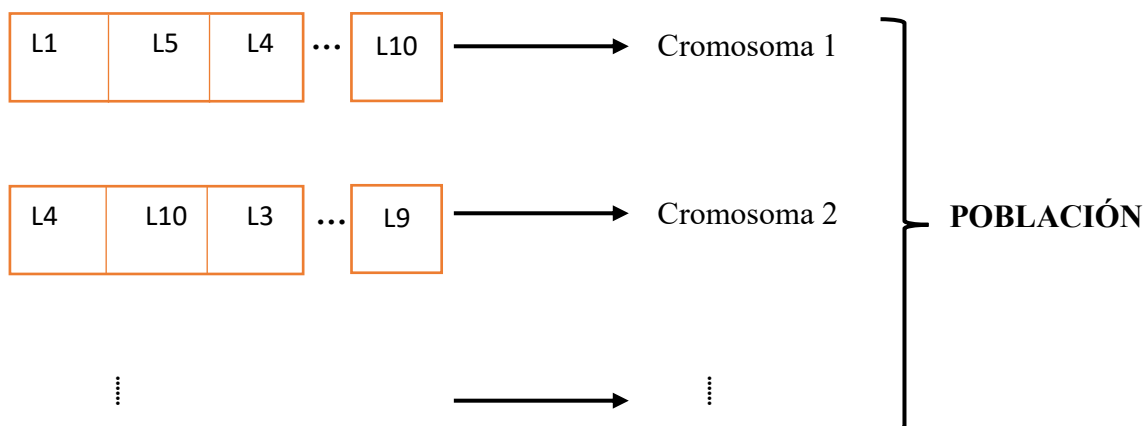


Nota. Conjunto de lotes considerados para la investigación donde cada lote representa un gen

c) Población

La población para el problema está representada por el conjunto de cromosomas (alternativas de riego) representado como un conjunto de vectores como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Esquema general de la población



Nota. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 9 para la investigación los cromosomas tienen una longitud de 11 de los cuales cada gen (lote) se nombra como: L1, L2, ..., L11 con los que se ha trabajado considerando el análisis de supuestos.

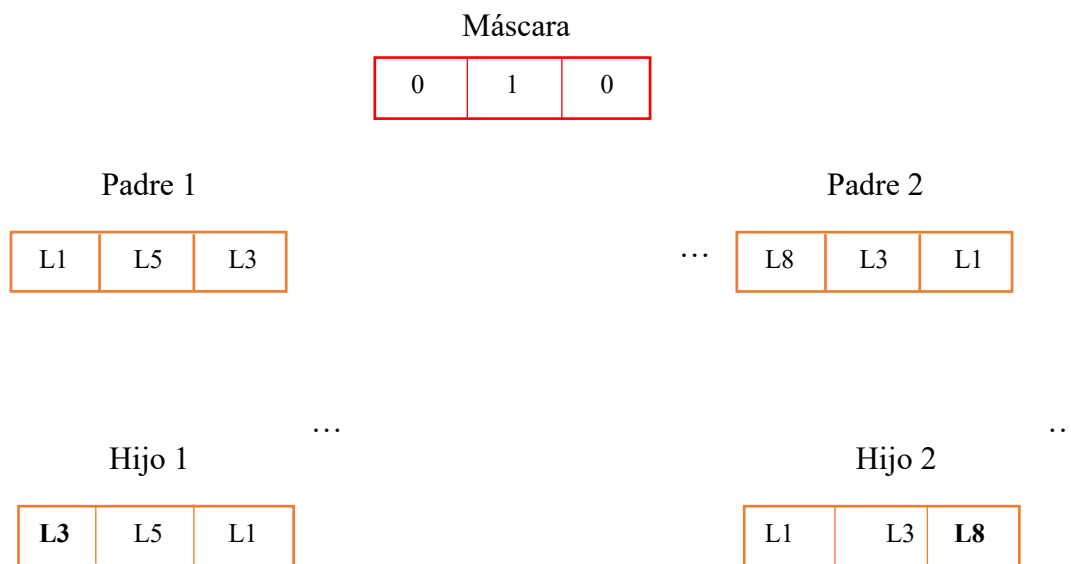
d) Selección

En la estructura del operador de selección se realizó por ruleta, se evaluó en primera instancia la población inicial obtenida por el algoritmo GRASP en la función fitness, para ello se consideró una matriz de tiempo (Tabla 3) tanto para la distribución como para la asignación del recurso hídrico, ya que el tiempo de riego está directamente relacionado con la cantidad de agua que se le asigna a cada lote el cual está sujeto al número de plantas que se tiene, el tipo de suelo, la pendiente, entre otros, además este depende del riego del lote anterior, según la secuencia de riego de la empresa. Posteriormente se obtiene los porcentajes de cada uno de los cromosomas para identificar el mayor o el menor porcentaje, en este caso el de menor porcentaje, ya que se requiere minimizar despilfarros de agua. Finalmente se seleccionaron aleatoriamente cromosomas con menor porcentaje que sirvieron para iniciar con el cruzamiento.

e) Cruzamiento

Luego de finalizar la estructura del operador selección se inicia con la estructura del operador cruzamiento en los que los cromosomas con los que se trabajó no son una secuencia de ceros y unos ya que es una ruta, por lo que se tuvo otra forma de tratar y abordar el problema. Según Reeves (2010) En el caso de codificaciones no lineales, es necesario reinterpretar el proceso de cruzamiento. Esto se debe a que, para lograr una distribución adecuada, es crucial evitar la repetición de genes durante el cruzamiento. Dado que no se puede regar un mismo lote dos veces, una estrategia para abordar este tipo de problemas implica la aplicación de una máscara binaria compuesta por ceros y unos en los padres. Esta máscara binaria actúa como un filtro: los componentes correspondientes a los unos se copian de uno de los padres, mientras que los componentes correspondientes a los ceros se copian del segundo padre, manteniendo el mismo orden. En esencia, esta técnica ayuda a preservar la diversidad genética y a garantizar que la distribución de recursos, en este caso el riego, se realice de manera no repetitiva y eficiente en la optimización del problema planteado. (pp. 125-126)

Figura 10. Cruzamiento Uniforme



Nota. Elaboración propia

f) Mutación

Después de haber aplicado el operador de cruzamiento, se procede a implementar el operador de mutación. En este proceso, se crean dos variables auxiliares que posibilitan la mutación de manera aleatoria en cada individuo. Este procedimiento se lleva a cabo mediante el uso de la función `randint` de la biblioteca `random` en Python. Es fundamental destacar que esta estructura es esencial y básica en la teoría de algoritmos genéticos, ya que desempeña un papel crucial en fomentar la diversidad genética entre los individuos. La introducción de mutaciones aleatorias contribuye a explorar de manera más efectiva el espacio de soluciones y evita la convergencia prematura hacia soluciones subóptimas.

g) Evaluación

En el algoritmo de evaluación para el caso de estudio se consideró la función de evaluación descritas en el capítulo V, dicha función de evaluación fueron aplicadas en las rutas de riesgo obtenidas con el algoritmo mutación para finalmente dar elección a la ruta que mejore a la ruta que actualmente considera la empresa.

5.4. Diseño computacional del algoritmo genético

A continuación, se muestra el diseño computacional del algoritmo genético realizado en el software Pycharm con lenguaje Python.

Figura 11. Introducción de datos recolectados en Python

```
A = [[0, 110, 100, 98, 115, 92, 102, 100, 90, 105, 104],
      [98, 0, 100, 95, 110, 105, 100, 98, 89, 95, 80],
      [60, 62, 0, 70, 70, 72, 80, 75, 70, 80, 78],
      [76, 90, 85, 0, 80, 88, 95, 92, 86, 102, 105],
      [100, 105, 92, 95, 0, 100, 90, 120, 120, 90, 95],
      [95, 90, 85, 90, 100, 0, 100, 98, 95, 130, 130],
      [82, 95, 102, 110, 115, 88, 0, 95, 98, 100, 97],
      [90, 92, 86, 80, 100, 90, 90, 0, 92, 110, 120],
      [95, 90, 85, 85, 90, 95, 89, 95, 0, 95, 100],
      [120, 115, 125, 110, 130, 122, 109, 99, 118, 0, 121],
      [120, 132, 125, 130, 130, 128, 130, 130, 128, 120, 0]]

B = [19544.79, 14042.43, 2763.87, 16587.93, 14584.38, 16168.38, 17828.09, 20204.05, 16968.62, 38107.01, 51646.99]

C = [4078.41, 3885.57, 2578.53, 3629.67, 3156.42, 3361.63, 3491.11, 3707.15, 3310.18, 8203.39, 9913.01]
```

Nota. Digitación del tiempo, costo y beneficio de la muestra en el periodo 2021 en Python

En la Figura 11, se muestra la matriz de tiempo de riego de los lotes considerados en la investigación, el costo que se incurre en mantener el cultivo ya sea en fertilizaciones, mano de obra, entre otros y el beneficio obtenido considerando la política de riego de lotes adoptada por la empresa, los cuales fueron recolectados a través de los instrumentos de recolección (Anexo 3.1 y Anexo 3.2) y digitados en Python, lo cual es necesario para dar inicio al algoritmo genético.

Figura 12. Codificación del operador evaluación en Python

```

def evaluacion(sol, A, BC):
    suma = 0
    for i in range(0, len(sol)):
        if i < len(sol) - 1:
            suma = suma + A[sol[i]][sol[i + 1]] * BC[sol[i]]
        else:
            suma = suma + A[sol[i]][sol[0]] * BC[sol[i]]
    return suma

def suma_tiempos(sol, A):
    suma2 = 0
    for j in range(0, len(sol)):
        if j < len(sol) - 1:
            suma2 = suma2 + A[sol[j]][sol[j + 1]]
        elif j == len(sol) - 1:
            suma2 = suma2 + A[sol[j]][sol[0]]
    return suma2

def imprimir_suma_evaluacion(sol, sumas, fitness):
    matriz_grande = []
    for i in range(0, len(sumas)):
        aux = [i, sol[i], sumas[i], fitness[i]]
        matriz_grande.append(aux)
        aux = []

    matriz_grande_final = sorted(matriz_grande, key=lambda x: x[2])

    for j in range(0, len(sumas)):
        print(matriz_grande_final[j])

```

Nota. Desarrollo del operador evaluación primer operador considerado en el algoritmo genético

La Figura 12, muestra la estructura del operador evaluación del algoritmo genético considerando funciones, variables auxiliares y estructuras repetitivas como se describe a continuación:

- **Def evaluación:** Función creada en el programa en el cual se codifica operadores necesarios para la evaluación de la solución en la función fitness planteado en el capítulo anterior.

- **sol:** Es la variable que contiene a la población aleatoria inicial brindada por el algoritmo GRASP.
- **A:** Matriz en el cual se tiene los tiempos de riego.
- **BC:** Variable donde se almacena los datos resultantes de la operación división del costo y beneficio
- **def suma_tiempos:** Función creada para obtener los tiempos de cada solución generada en el algoritmo.
- **def imprimir_suma_evaluación:** Función creada para mostrar la posición de la solución de secuencia de riego, la solución de secuencia de riego, el tiempo que demora y el valor fitness.

Es necesario señalar que en la Figura 12 se utiliza la función **len(sol)**, lo que hace que la codificación sea adaptable. Asimismo, luego de haber realizado la evaluación de las soluciones iniciales obtenidas mediante el algoritmo GRASP (ver Figura 6) en la función fitness, el proceso continúa con el operador selección como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Codificación del operador selección en Python

```

def porcentajes(sum_total, list_fitness):
    m_xcentaje = []
    for i in range(0, len(list_fitness)):
        m_xcentaje.append(list_fitness[i] / sum_total)

    return m_xcentaje

def generar_acumulados(porcentajes):
    acumulado = []
    suma = 0
    for i in range(0, len(porcentajes)):
        suma = suma + porcentajes[i]
        acumulado.append(round(suma, 3))

    return acumulado

def generar_padres(acumulado, soluciones):
    matriz_padres = []
    bandera = False

    for j in range(0, 2):
        if j == 0:
            aleatorio = rn.uniform(0, 1)
            for i in range(0, len(acumulado)):
                if aleatorio < acumulado[i]:
                    padre1 = soluciones[i]
                    matriz_padres.append(padre1)
                    break

        if j == 1:
            while bandera == False:
                aleatorio = rn.uniform(0, 1)
                for k in range(0, len(acumulado)):
                    if aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] != padre1:
                        padre2 = soluciones[k]
                        matriz_padres.append(padre2)
                        bandera = True
                        break
                    elif aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] == padre1 and len(acumulado) - 1 < k + 1:
                        break
                    elif aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] == padre1:
                        padre2 = soluciones[k + 1]
                        matriz_padres.append(padre2)
                        bandera = True
                        break

    return matriz_padres

```

Nota. Desarrollo del operador selección considerado en el algoritmo genético

La Figura 13, inicia codificando las estructuras para asignar una ponderación a cada cromosoma compuesta por los 11 lotes considerados, por ello realiza lo siguiente:

- **def porcentajes:** Función creada en el programa para realizar las operaciones y hallar la ponderación para cada individuo haciendo uso de estructuras repetitivas.
- **m_xcentaje:** Auxiliar creada para almacenar todas las ponderaciones.
- **list_fitness:** Lista que contiene todos los valores fitness de cada solución del problema
- **def generar_acumulados:** Función creada para almacenar los porcentajes hallados anteriormente en la variable acumulado.
- **def generar_padres:** Función creada para generar los padres y seleccionar a los mismos; es decir a dos soluciones considerando la variable acumulado y soluciones.
- **matriz_padres:** Se crea una matriz para almacenar a los padres o soluciones escogidos utilizando estructuras repetitivas y estructuras condicionales.
- **Aleatorio:** Variable que genera números aleatorios de 0 y 1 con la finalidad de continuar desarrollando la función **def generar_padres**.

Operador cruzamiento como se muestra en la Figura 14, es codificado de manera adaptable en caso se considere más instancias o muestras superior a la que se cuenta en la presente investigación.

Figura 14. Codificación del operador cruzamiento Uniforme

```

def creacion_mascaras(matriz_padres_general):
    long_mascara = len(matriz_padres_general[0][0])
    mascarar = []

    for i in range(0, len(matriz_padres_general)):
        mascara = []
        cont_unos = 0
        cont_ceros = 0
        ...
        while len(mascara) < long_mascara:
            aux = rn.randint(0, 1)

            if aux == 1:
                if cont_unos < long_mascara - 2:
                    mascara.append(aux)
                    cont_unos += 1

            elif aux == 0:
                if cont_ceros < long_mascara - 2:
                    mascara.append(aux)
                    cont_ceros += 1

        mascarar.append(mascara)
    return mascarar

def cruzamiento(mascarar, matriz_padres_general):
    cruz1 = []
    cruz2 = []
    cruces = []
    tam_mascara = len(mascarar[0])
    tam_matriz_padres = len(matriz_padres_general)
    for k in range(0, tam_matriz_padres):
        cruz = crear_vector(matriz_padres_general)
        cruz1 = cruz[0]
        cruz2 = cruz[1]
        for i in range(0, tam_mascara):
            if mascarar[k][i] == 1:
                cruz1[i] = matriz_padres_general[k][0][i]
                cruz2[i] = matriz_padres_general[k][1][i]
        for j in range(0, tam_mascara):
            if matriz_padres_general[k][1][j] not in cruz1:
                cruz1[cruz1.index(0.1)] = matriz_padres_general[k][1][j]
            if matriz_padres_general[k][0][j] not in cruz2:
                cruz2[cruz2.index(0.1)] = matriz_padres_general[k][0][j]

        cruces.append([cruz1, cruz2])
    return cruces

```

Como se muestra en la Figura 14, la codificación de dicho operador inicia con lo siguiente:

- **def creación_mascaras:** Se crea dicha función con la finalidad de crear máscaras de ceros y unos aleatorios para realizar el cruzamiento de los padres.
- **aux:** Variable auxiliar aleatoria de cero y uno utilizada en la estructura condicional.
- **mascara:** Variable en el que se va almacenando los valores de ceros y unos.
- **Def cruzamiento:** Función creada para realizar el operador cruzamiento considerando la máscara y la matriz de padres ya obtenidas anteriormente.
- **tam_mascara:** Variable en el que se obtiene el tamaño de la máscara generada que es base para iniciar el operador.
- **tam_matriz_padres:** Variable donde se obtiene el tamaño de la matriz de soluciones o padres seleccionados.
- **crucos:** Variable en el que se almacena los cruces obtenidos luego de realizar el cruzamiento llamados también hijos.

La máscara aleatoria que contiene ceros y unos es esencial para realizar el cruzamiento, por ello la codificación mostrada en la Figura 14 se desarrolla haciendo uso de métodos, funciones y variables para formar dicha máscara para cada padre seleccionado. Posteriormente, se realizó la codificación del cruzamiento, los cuales se obtuvieron los que comúnmente son llamados hijos, que son las nuevas posibles soluciones con el que el algoritmo realiza el siguiente operador llamado mutación (ver Figura 15).

Figura 15. Codificación del operador mutación

```

def mutacion(hijos):
    aux1 = 1
    aux2 = 2
    mutados = []
    for i in range(0, len(hijos)):
        for j in range(0, 2):
            while aux1 != aux2:
                aux1 = rn.randint(0, len(hijos[0][0]) - 1)
                aux2 = rn.randint(0, len(hijos[0][0]) - 1)
                if aux1 != aux2:
                    break
            else:
                aux1 = 1
                aux2 = 2

            auxiliar = hijos[i][j][aux1]
            hijos[i][j][aux1] = hijos[i][j][aux2]
            hijos[i][j][aux2] = auxiliar

            mutados.append(hijos[i][j])

    return mutados

def imprimir(mutados):
    for i in range(0, len(mutados)):
        print(mutados[i])

```

La Figura 15, muestra la codificación del operador mutación, este aplica diversidad a la solución obtenida, por lo que dicha codificación se describe de la siguiente manera:

- **def mutación:** Función donde se desarrolla las operaciones mutación luego de haber realizado el operador cruzamiento.
- **aux1 y aux 2:** variables auxiliares utilizados dentro de la estructura repetitiva con la finalidad de escoger aleatoriamente la posición de los lotes que han sido mutados.
- **auxiliar:** Variable creada para realizar la mutación a partir de las posiciones de los lotes escogidos de manera aleatoria.
- **mutados:** Variable en el que se agrega las nuevas posibles soluciones del problema

Finalmente se procede a realizar el operador de evaluación cuya codificación es mostrada en la Figura 12.

5.5. Presentación y análisis de resultados

La empresa "Fundo de Paltos El Silencio" actualmente lleva a cabo el riego de sus lotes de manera empírica, enfrentándose a diversas problemáticas en este proceso. Sin embargo, la prioridad para los stakeholders se centra en abordar la problemática del recurso hídrico, ya que la sostenibilidad del fundo depende en gran medida de este recurso. Es importante destacar que en la ubicación del fundo coexisten varios productores, y el riego de cada uno de ellos se basa en turnos, lo que convierte al recurso hídrico en un factor limitante. En este contexto, se presenta la secuencia actual en la que la empresa realiza el riego de los lotes de manera empírica. Simultáneamente, se exponen los resultados obtenidos en el caso de estudio, donde se aplicó la herramienta del algoritmo genético codificada en Python, con el fin de cumplir los objetivos planteados. Este enfoque permitió la validación de las hipótesis planteadas, proporcionando una perspectiva más eficiente y optimizada para la gestión del recurso hídrico en comparación con el método empírico previamente empleado.

Tabla 5.

Secuencia de riego empírica del Fundo " El Silencio"

SECUENCIA	TIEMPO/MIN
L5-L6-L7-L8-L9-L1- L2-L3-L4-L11-L10	1117

En la Tabla 5 se puede observar que la política de riego establecida hasta la actualidad por la empresa es iniciar el riego por el lote 5 luego lote 6, lote 7, lote 8, lote 9, lote 1, lote 2, lote 3, lote 4, lote 11 y finalmente el lote 10 teniendo un tiempo total de riego de 1117 minutos que es aproximadamente 19 horas.

Sin embargo al aplicar algoritmo genético para establecer una nueva ruta de riego que mejore la ruta actual se encontró la primera ruta que cumple este primer objetivo en

la que se minimiza los tiempo de riego las cuales son realizar el riego en primera instancia por el lote 2 luego el lote 11, lote 10, lote 8, lote 3, lote 1, lote 9, lote 4, lote 5, lote 7 y por último el lote 6 (ver Tabla 6) obteniendo un tiempo de riego de 968 minutos que es aproximadamente 16 horas, este resultado se obtuvo considerando factores como la cantidad de plantaciones por lotes, el tipo de suelo, la pendiente que tiene cada lote etc.

Tabla 6.

Secuencia de riego obtenida mediante algoritmo genético

SECUENCIA	TIEMPO/MIN	FITNESS
L2-L11-L10-L8-L3-L1-L9-L4-L5-L7-L6	968	246.53

Tabla 7

Tiempo de riego reducido por lotes

Lotes	Tiempo /Empresa	Tiempo /Algoritmo	Tiempo Reducido/Lotes
	L5-L6-L7-L8-L9-L1-L2-L3-L4-L11-L10	L2-L11-L10-L8-L3-L1-L9-L4-L5-L7-L6	
L1	110	90	20
L2	100	80	20
L3	70	60	10
L4	105	80	25
L5	100	90	10
L6	100	90	10
L7	95	88	7
L8	92	86	6
L9	95	85	10
L10	130	99	31
L11	120	120	0
TOTAL	1117	968	149

Como se observa en la Tabla 7 cada lote considerado en la investigación tiene un tiempo de riego tanto de la empresa como del algoritmo aplicado, por lo que para el lote 1 el tiempo se redujo de 110 minutos a 90 minutos, para el lote 2 el tiempo se redujo de 100 minutos a 80 minutos, para el lote 3 el tiempo se redujo de 70 minutos a 60 minutos, así sucesivamente hasta el lote 11 obteniendo un tiempo total reducido de 149 minutos que es aproximadamente 3 horas.

Tabla 8.

Recurso hídrico asignado por lote (Litros)

Lotes	Recurso Hídrico		Ahorro Agua/Lotes
	Empresa	/Algoritmo	
	L5-L6-L7-L8-L9-L1- L2-L3-L4-L11-L10	L2-L11-L10-L8-L3- L1-L9-L4-L5-L7-L6	
L1	34740	28423.64	6316.36
L2	32370	25896.00	6474.00
L3	18550	15900.00	2650.00
L4	34320	26148.57	8171.43
L5	28000	25200.00	2800.00
L6	33750	30375.00	3375.00
L7	29610	27428.21	2181.79
L8	34830	32558.48	2271.52
L9	28820	25786.32	3033.68
L10	34170	26021.77	8148.23
L11	31350	31350.00	0.00
TOTAL	340510	295087.982	45422.018

Nota. Resultados obtenidos para la asignación de Recurso Hídrico.

La Tabla 8, muestra la cantidad de agua de cada lote asignada por la empresa y la cantidad de agua de cada lote asignada al aplicar el algoritmo, se muestra como resultado una cantidad total de agua ahorrada de 45422.5 litros, lo que cumple con el segundo objetivo planteado.

Es fundamental destacar que la cantidad total obtenida mediante el algoritmo genético cumple con la restricción establecida, que consiste en no exceder la disponibilidad de agua destinada para el riego de los once lotes considerados en la muestra. Es importante señalar que, aunque algunos lotes puedan tener el mismo tiempo de riego, esto no implica necesariamente que consuman la misma cantidad de recurso hídrico. Este consumo varía en función de los supuestos descritos anteriormente, como el tipo de suelo, la pendiente del terreno, el método de riego, la edad de las plantas, el número total de plantaciones y las condiciones climáticas. Estos factores contribuyen a la individualización del consumo de agua en cada lote, aun cuando comparten el mismo intervalo de riego.

5.6. Validación de hipótesis

Se probó que las variables tiempo de riego y distancia tienen una distribución de probabilidad normal y se procedió a aplicar la prueba t- de Student para probar que la ruta propuesta mejora el uso del recurso hídrico.

5.6.1. Análisis de normalidad

En el inicio del análisis de datos, se llevó a cabo la prueba de normalidad para describir la distribución de las variables en estudio. En el contexto de la presente investigación, estas variables pueden evaluarse inicialmente mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, especialmente adecuada para muestras de tamaño menor a 30. Sin embargo, esta prueba se basa en frecuencias absolutas, y dado que la muestra considerada por conveniencia en la investigación es pequeña, la aplicación de la prueba Kolmogorov-Smirnov no resulta factible.

Por ende, se optó por evaluar la normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. En esta prueba, la hipótesis nula se rechaza cuando el valor calculado, también conocido como valor estadístico, es menor que el valor crítico encontrado en la tabla de probabilidad. Este enfoque proporciona una evaluación más precisa de la normalidad de los datos en el caso específico de una muestra pequeña.

En consecuencia, los datos relativos a los tiempos, al recurso hídrico y al ahorro del recurso hídrico obtenidos mediante el algoritmo genético exhibieron una distribución normal, según se evidencia en la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11. En ambos casos, el valor calculado para estas variables es mayor que el valor crítico de la tabla, lo que sugiere que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad en las variables bajo estudio. Este hallazgo fortalece la validez de los resultados obtenidos a través del algoritmo genético, respaldando la interpretación de los datos y permitiendo una mayor confianza en las conclusiones derivadas de la investigación.

Tabla 9.

Prueba de Shapiro Wilk para los tiempos obtenidos mediante Algoritmo Genético

Valor calculado	0.895
Valor n	11
Nivel de significancia	0.05
Valor tabla	0.850

Nota. Análisis de datos realizado en el programa estadístico SPSS

La Tabla 9 muestra que el valor calculado es de 0.895, que es mayor al valor tabla cuyo valor es 0.850, por lo cual el valor calculado se encuentre fuera de la región crítica, por lo que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la normalidad de la variable tiempo.

Figura 16. Tiempo de riego de lotes del fundo obtenido mediante Algoritmo

Genético

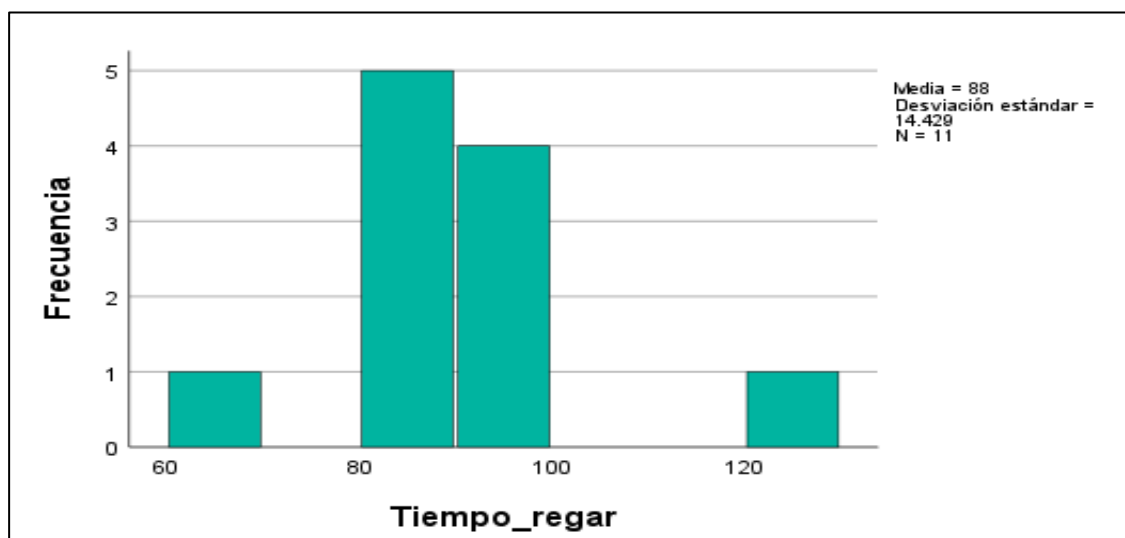


Tabla 10.

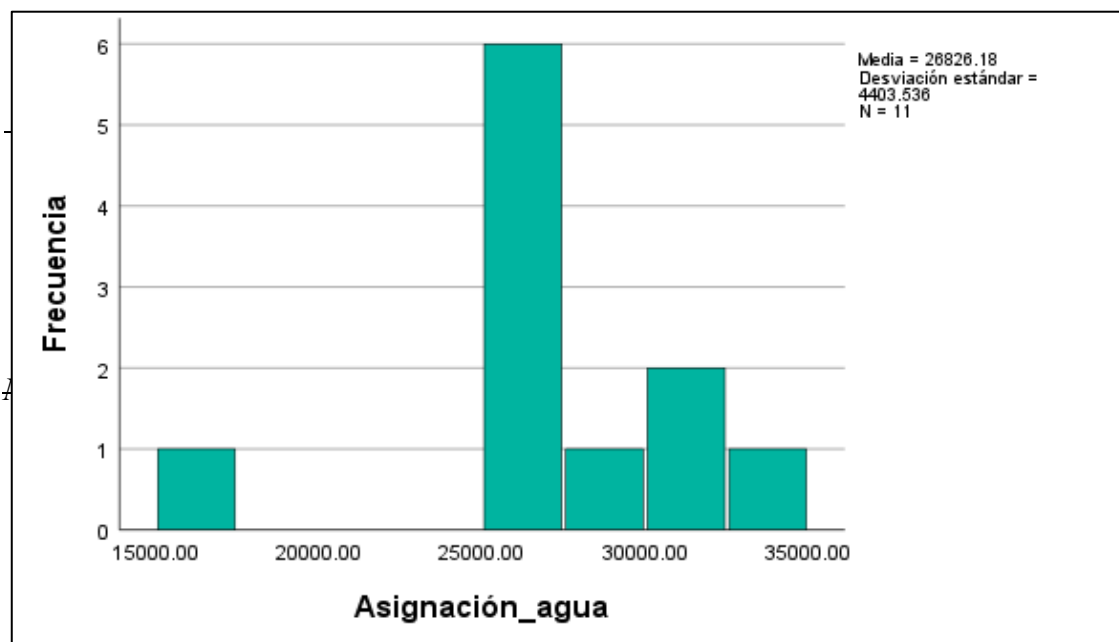
Prueba de Shapiro Wilk para el recurso hídrico obtenidos mediante Algoritmo Genético

Valor calculado	0.8535
Valor n	11
Nivel de significancia	0.05
Valor tabla	0.85

Nota. Análisis de datos realizados en el programa estadístico SPSS

La Tabla 10, muestra que el valor calculado es de 0.853, que es mayor al valor tabla cuyo valor es 0.850, por lo cual el valor calculado se encuentre fuera de la región crítica, por lo que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la normalidad de la variable recurso hídrico

Figura 17. Asignación de recurso hídrico a cada lote del fundo



Nota. Histograma de recurso hídrico asignado (ver Tabla 8) obtenido mediante programa estadístico SPSS.

Tabla 11.

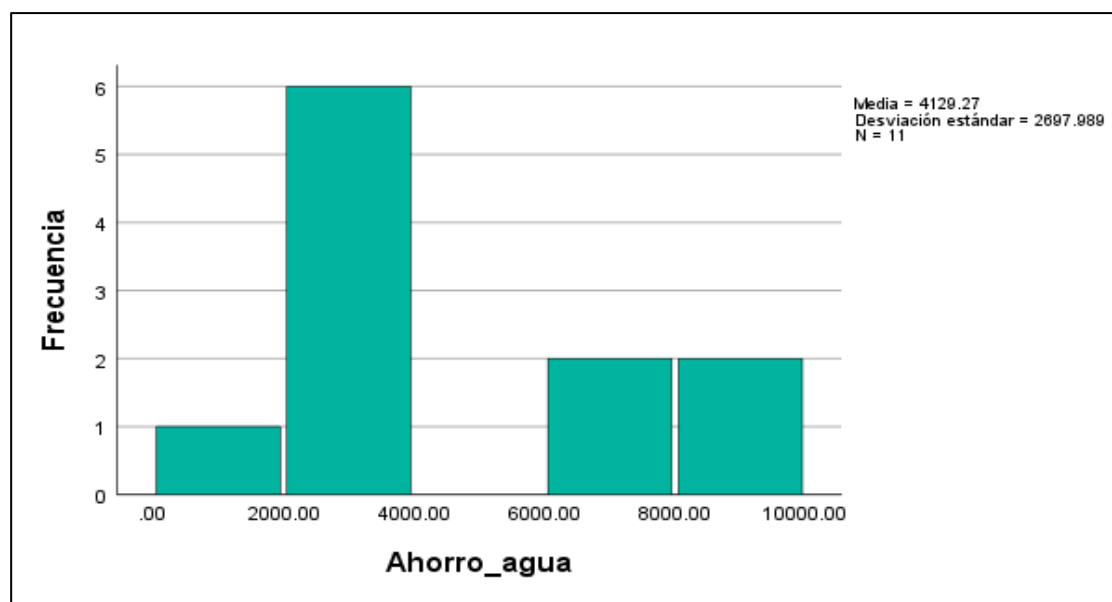
Prueba de Shapiro Wilk para el ahorro de Recurso Hídrico obtenido mediante Algoritmo Genético

Valor calculado	0.8943
Valor n	11
Nivel de significancia	0.05
Valor tabla	0.85

Nota. Histograma de tiempo (ver Tabla 11) obtenido mediante programa estadístico SPSS.

La Tabla 11, muestra que el valor calculado obtenido es de 0.8943, que es mayor al valor tabla obtenido cuyo valor es 0.850 por lo cual el valor calculado se encuentre fuera de la región crítica, por lo que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la normalidad de la variable ahorro de recurso hídrico

Figura 18. Ahorro de recurso hídrico en el fundo



Nota. Histograma obtenido mediante programa estadístico SPSS.

5.6.2. Prueba t de Student diferencias de medias

Después de los análisis anteriores, se procede a realizar la prueba t de Student para muestras relacionadas. Esta prueba se ejecuta en la presente investigación debido a que se cuenta con una muestra menor a 30. La prueba compara las medias de dos muestras relacionadas, permitiendo determinar si existe una diferencia significativa entre ellas. Este resultado es crucial, ya que valida y demuestra que los resultados obtenidos mediante el algoritmo genético son superiores a la política de riego actualmente adoptada por la empresa.

En relación con la primera hipótesis específica, que sostiene que el uso del algoritmo genético mejora la distribución del recurso hídrico en el fundo de patos "El Silencio", la prueba t de Student arroja un p-valor de 0.000656471, que es inferior a $\alpha = 0.05$ (ver Tabla 12). Por lo tanto, se puede concluir que la diferencia observada en la distribución del recurso hídrico en el fundo de patos "El Silencio", antes y después de la implementación del algoritmo genético, es estadísticamente significativa a un nivel de significancia del 5%. Esto respalda la afirmación de que el algoritmo genético

efectivamente mejora la gestión del recurso hídrico en comparación con la política de riego actual.

Tabla 12.

Prueba t de Student diferencia de medias para la variable tiempo (minutos)

	TIEMPO/EMPRESA	TIEMPO/ALGORITMO
Media	101.5454545	88
Varianza	241.2727273	208.2
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0.812485215	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	4.865022456	
P(T<=t) una cola	0.000328235	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.000656471	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Asimismo, para la segunda hipótesis, el uso del algoritmo genético mejora la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno del fundo teniendo en cuenta la cantidad de recurso hídrico disponible, luego de realizar la prueba t de Student, se obtiene un P- valor de 0.000480521 el cual es inferior a $\alpha = 0.05$ (Tabla 13), por lo que se puede concluir que, la diferencia observada en la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno del fundo teniendo en cuenta la cantidad de recurso hídrico disponible antes y después de usar el algoritmo genético es estadísticamente significativa a un nivel de significancia del 5 % .

Tabla 13.

Prueba t de Student de diferencia de medias para la variable Recurso Hídrico

	AGUA/EMPRESA	AGUA/ALGORITMO
Media	30955.45455	26826.18015
Varianza	22995487.27	19391127.5
Observaciones	11	11
Coeficiente de correlación de Pearson	0.831278809	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	5.076097264	
P(T<=t) una cola	0.000240261	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.000480521	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Nota. Análisis de diferencias de medias realizado en Microsoft Excel

Finalmente, del análisis realizado a los resultados obtenidos por el algoritmo genético a fin de validar las hipótesis consideradas, se concluye que el uso del algoritmo genético mejora la distribución del recurso hídrico y la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno, lo cual genera mejores soluciones al uso del recurso hídrico en el fundo de paltos “El Silencio” ante la problemática presentada en el trabajo de investigación.

CAPÍTULO VI DISCUSIÓN

En la presente investigación se aplicó la teoría del algoritmo GRASP, del cual se obtuvo las soluciones iniciales, que es con lo que inicia el algoritmo genético, para realizar el riego de todos los lotes considerados en la muestra por conveniencia, de manera adecuada, teniendo en cuenta la cantidad de agua como factor limitante, tipo de suelo, la pendiente del terreno, entre otros, el cual se obtuvo como resultado una reducción tanto en la asignación del agua a todos los lotes como en el tiempo de riego. Sin embargo, la investigación presentada por Pizarro Rodriguez (2015) utilizó la herramienta algoritmo genético y el algoritmo de GRASP, de los cuales realizó una comparación de resultados de dichos algoritmos con la finalidad de optimizar el recurso hídrico seleccionando los terrenos a regar considerando diferentes factores para la distribución del agua.

Los resultados obtenidos para la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno fueron superiores a los que la empresa asignaba según la política de riego adoptada, logrando mejorar el uso del recurso hídrico y generando un ahorro total de 45,422.018 litros de un suministro total de 345,512.5 litros de agua destinados al riego de los 11 lotes. En comparación, la política de riego de la empresa, aplicada de forma convencional, que consume un total de 340,510 litros de recurso hídrico.

Adicionalmente, en relación al tiempo de riego, el algoritmo demostró una mejora en la ruta para la distribución del recurso hídrico, reduciendo el tiempo de riego aproximadamente en un total de 3 horas. Estos resultados son coherentes con los obtenidos en estudios previos y respaldan la eficacia del algoritmo en mejorar la asignación y distribución del recurso hídrico en comparación con las prácticas convencionales de la empresa, tal como se señala en el artículo de Solano Sabatier et al. (2008) que logró

asignar aulas a los cursos en una universidad reduciendo el tiempo de dicho proceso de 2 días a 2 o 3 minutos. Cabe resaltar que el enfoque de dichos autores es diferente a la presente investigación, pero hicieron uso del algoritmo genético para realizar la asignación de aulas.

Finalmente, en la presente investigación solo se ha trabajado con un solo productor y un solo tipo de paltos llamado Hass, además, el desarrollo del algoritmo se realizó mediante lenguaje Python adaptable para cualquier tamaño de muestra.

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Luego de concluir el estudio de investigación, se han extraído conclusiones significativas para cada uno de los objetivos planteados:

Mejora en la Política de Riego: Se logró obtener una ruta que mejora sustancialmente la política de riego de la empresa, reduciendo el tiempo de riego de los once lotes (seleccionados por conveniencia) de 1,117 minutos a 968 minutos (como se muestra en la Tabla 7).

Optimización del Recurso Hídrico: Cada lote recibió la cantidad adecuada de agua, mostrando asignaciones específicas, como 28,423.64 litros para el lote 1, 25,896.00 litros para el lote 2, 15,900.00 litros para el lote 3, y así sucesivamente. Se evidenció un ahorro total de 45,422.018 litros de agua en comparación con la política de riego convencional (Tabla 8).

Diseño del Algoritmo Genético: El algoritmo genético diseñado logró reducir el tiempo de riego en aproximadamente 3 horas y asignar la cantidad adecuada de recurso hídrico a cada lote de terreno. Esto resultó en una disminución significativa del uso del recurso, minimizando desperdicios.

Validación Estadística: Se realizaron pruebas estadísticas como la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y la prueba t de Student para validar las hipótesis planteadas en la investigación. Los resultados confirmaron la eficacia del algoritmo genético en comparación con la política de riego actual.

Implementación del Algoritmo: Se utilizó el algoritmo GRASP para obtener una población aleatoria inicial y el algoritmo genético para mejorar las soluciones brindadas por GRASP. Estos algoritmos fueron implementados en el software PyCharm utilizando el lenguaje Python.

En resumen, el algoritmo genético aplicado demostró ser eficiente y eficaz, cumpliendo con los objetivos de la investigación y proporcionando resultados superiores, así como nuevas alternativas para la distribución del recurso hídrico en el fundo.

Recomendaciones

Para el presente trabajo de investigación, se aplicó el algoritmo genético para obtener el uso adecuado del recurso hídrico en el fundo mediante la distribución del recurso hídrico y asignación de este mismo a todos los lotes de terreno por lo que se recomienda lo siguiente:

- Con relación a la programación del algoritmo genético desarrollado en Python, el cual proporciona soluciones alineadas con los objetivos de la investigación, se destaca que la precisión de los datos podría beneficiarse aún más con la implementación de dispositivos tecnológicos, como sensores de humedad. Estos dispositivos permitirían detectar las necesidades reales del terreno y las plantaciones, brindando información más precisa y actualizada para la ejecución del algoritmo.
- Para mejorar la gestión del recurso hídrico en el fundo, se recomienda la implementación del algoritmo genético, realizando una programación periódica de seguimiento y evaluación a cada lote del fundo a fin de mantener actualizados los tiempos requeridos para el riego y la asignación del recurso hídrico y a su vez las necesidades que requieran los lotes hasta el periodo de la cosecha del fruto. Este enfoque no solo optimizará el tiempo de riego, sino que también contribuirá a la minimización de desperdicios del recurso hídrico. La empresa experimentará un ahorro significativo en el uso del agua al adoptar esta estrategia, lo que se traducirá en beneficios económicos y medioambientales.

Estas recomendaciones buscan potenciar aún más la eficiencia del sistema y aprovechar al máximo las capacidades del algoritmo genético, contribuyendo a una gestión más sostenible y precisa del recurso hídrico en el fundo de paltos "El Silencio".

REFERENCIAS

- Aduviri Choque, R. A. (2019). Algoritmo genético multiobjetivo para la optimización de la distribución de ayuda humanitaria en caso de desastres naturales en el Perú [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15478>
- Agua y Cultivos. (s. f.). Recuperado 15 de noviembre de 2022, de <https://www.fao.org/3/y3918s/y3918s03.htm>
- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL. <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>
- Arias Odon, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición (1-6 a edición). Episteme.
- Arranz de la peña, J., & Parra Truyol, A. (s. f.). Algoritmos Genéticos. 8.
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338. Autoridad Nacional del Agua, 12.
- Batista, B. M., Pérez, J. A. M., & Vega, J. M. M. (2009). Algoritmos Genéticos. Una visión práctica. 71, 19.
- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3), 268-308. <https://doi.org/10.1145/937503.937505>
- Carrión, P., Lopez, E., Ortega, F., & De Juan, A. (2003). Optimización mediante algoritmos genéticos de la gestión del agua en el regadío. 19, 4, 447-462 (2003), 16.
- Castillo Huerta, J. R. (2018). Implementación de un algoritmo genético para elaborar un conjunto de rutas óptimas para el transporte de la comunidad universitaria desde y hacia el campus principal [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13047>
- Chazallet, S. (2016). Python 3: Los fundamentos del lenguaje (Vol. 2). Ediciones ENI.

- Cid García, N. M. (2012). Planificación de la producción agrícola y manejo eficiente del agua en un sistema de irrigación [Masters, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/2674/>
- Correa Espinal, A., Cogollo Florez, J., & Salazar López, J. (2011). Solución de problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad usando la teoría de grafos. 3, 7.
- Cuevas çlvarez, A. (2019). Programar con Python 3.
- De Antonio Suárez, O. (2020). Una aproximación a la heurística y metaheurísticas—PDF Free Download. Dicplayer. <https://docplayer.es/33882246-Una-aproximacion-a-la-heuristica-y-metaheuristicas.html>
- Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. (s. f.). Recuperado 13 de enero de 2021, de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>
- Feo, T., & Resende, M. G. C. (s. f.). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. ResearchGate. Recuperado 7 de septiembre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/225237245_Greedy_Randomized_Adaptive_Search_Procedures
- Francisco, A. B., Gonzáles Velarde, L., & Alvarez, A. (2020). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/226336299_Greedy_Randomized_Adaptive_Search_Procedures
- García, J., & Jimenez, A. (2021). Optimización del recurso hídrico, un asunto de sostenibilidad y competitividad. Metroflor. <https://www.metroflorcolombia.com/optimizacion-del-recurso-hidrico-un-asunto-de-sostenibilidad-y-competitividad/>
- Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J. R., Dorado, J., & Pazos, A. (2010). Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética. algorit
- Haro Cando, Z. L., & Vallejos Suárez, M. J. (2012). Optimización del uso del recurso hídrico del Sistema de Riego Montufar para mejorar la producción agrícola. [BachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2111>

- Hillier, F. S., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (9.^a ed.). Copyright © 2010 by The McGraw-Hill Companies.
- López Potosme Rudy Alberto. (2017). *Algunos problemas clásicos de Optimización Combinatoria: una propuesta metodológica* [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://library.co/document/ye8m0p7y-algunos-problemas-clasicos-optimizacion-combinatoria-una-propuesta-metodologica.html>
- Melián, B., Moreno Perez, J. A., & Marcos Moreno-Vega, J. (2003). Metaheuristics: A global view. *INTELIGENCIA ARTIFICIAL*, 7(19), 352. <https://doi.org/10.4114/ia.v7i19.713>
- Microsoft. (s. f.). Software de hojas de cálculo Microsoft Excel | Microsoft 365. Recuperado 19 de noviembre de 2022, de <https://www.microsoft.com/es-ww/microsoft-365/excel>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). MINAGRI. <https://www.gob.pe/minagri>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). FAO. <http://www.fao.org/home/es/>
- Pizarro Rodriguez, A. R. (2015). Implementación de un algoritmo genético para optimizar la distribución del agua en el riego de cultivos [Licenciatura, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6048>
- Portugal Muños Ismael. (2011, septiembre 19). El problema de la disponibilidad de agua en el Perú. *Enfoque Derecho* | El Portal de Actualidad Jurídica de THĒMIS. <https://www.enfoquederecho.com/2011/09/19/el-problema-de-la-disponibilidad-de-agua-en-el-peru/>
- RAE. (s. f.). *Despilfarro*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 30 de agosto de 2023, de <https://dle.rae.es/despilfarro>
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*.
- Ramos Chagoya, E. (2020, noviembre 30). *Métodos y técnicas de investigación*. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>

- Reeves, C. R. (2010). Genetic Algorithms. En M. Gendreau & J.-Y. Potvin (Eds.), *Handbook of Metaheuristics* (Vol. 146, pp. 109-139). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5_5
- Ríos Ramírez, R. R. (2017). Metodología para la investigación y redacción: Vol. Primera edición digital (Grupo de investigación (SEJ 309) eumed.net de la Universidad de Málaga, España). Servicios Académicos Intercontinentales S.L. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/index.html?id=1662>
- Sastry, K., Goldberg, D., & Kendall, G. (2005). Genetic Algorithms. En E. K. Burke & G. Kendall (Eds.), *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques* (pp. 97-125). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-28356-0_4
- Solano Sabatier, Y., Calvo Marín, M., & Trejos Picado, L. (2008). Implementación de un algoritmo genético para la asignación de aulas en un centro de estudio. *Costa Rica*, 22(1-2), Article 1-2.
- SPSS Statistics—Visión general. (2022, enero 28). <https://www.ibm.com/pe-es/products/spss-statistics>
- Tejada Muñoz, G. (2017). Enrutamiento y secuenciación óptimos en un flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6657>
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de operaciones Aplicacione y algoritmos cuarta edicion* (cuarta edición). Copyright © 2005 por International Thomson Editores, S. A. <http://www.thomsonlearning.com.mx>

ANEXO

Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: Optimización del recurso hídrico mediante algoritmo genético en el fundo cultivo de paltos "El Silencio"							
FORMULACIÓN GENERAL	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo optimizar la distribución del recurso hídrico mediante algoritmo genético en el sistema de riego por lotes en un fundo cultivo de paltos "El Silencio"?	Diseñar un algoritmo genético para la optimización del Recurso Hídrico en el fundo "El Silencio" cultivo de paltos – Ayacucho.	1.Antecedentes: A nivel Nacional -Pizarro, A. (2015) "Implementación de un algoritmo genético para optimizar la distribución del agua en el riego de cultivo". - Tejada, G.(2017) "Enrutamiento y secuenciación óptimos en un flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos". - Castillo, J. (2018) "Implementación de un algoritmo genético para elaborar un conjunto de rutas óptimas para el transporte de la comunidad universitaria desde y hacia el campus principal ". A nivel Internacional -Carrión, P., López, E., Ortega, J. F., & de Juan, A. (2003) "Optimización	El uso del algoritmo genético optimiza el recurso hídrico en el fundo "El Silencio" cultivo de paltos.	Variable Dependiente	Maximizar beneficios	Cantidad adicional de frutos adquiridos por lotes(calidad)	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada <u>Diseño de la investigación:</u> -No Experimental
				Optimización del uso del recurso hídrico	Minimizar despilfarros	Cantidad de agua ahorrada	<u>Población y Muestra:</u> <u>Población</u> - Fundo cultivo de paltos <u>Muestra</u> - 11 lotes de paltos (por conveniencia)
FORMULACIÓN ESPECIFICA	OBJETIVOS ESPECIFICOS		HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo obtener rutas de distribución del recurso hídrico mediante algoritmo	Diseñar un Algoritmo Genético para ruta de distribución del		El uso del algoritmo genético genera rutas adecuadas	Variable Independiente	Rutas de distribución para el recurso hídrico	Número de lotes	<u>Técnicas e instrumentos:</u> -Entrevista -Observación

genético en el sistema de riego por lotes en un fundo cultivo de paltos "El Silencio"?	recurso hídrico en el fundo.	mediante algoritmos genéticos de la gestión del agua en el regadío"	para la distribución del Rh en el fundo cultivo de paltos "El Silencio"	genético para el uso adecuado del recurso hídrico	Utilidad de cada lote
¿Cómo asignar el recurso hídrico a cada lote de terreno mediante algoritmo genético en el sistema de riego por lotes en un fundo cultivo de paltos "El Silencio"?	Diseñar un Algoritmo Genético para la asignación del recurso hídrico a cada lote de terreno del fundo.	"Implementación de un algoritmo genético para la asignación de aulas en un centro de estudio". -Sabatier, Y., Marín, M., & Picado, L. (2008) -Cid, N. (2012) "Planificación de la producción agrícola y manejo eficiente del agua en un sistema de irrigación". 2. Bases Teóricas Hídrico -Recurso Hídrico -Optimización Genético -Algoritmo GRAPS	El uso del algoritmo genético logra asignar el recurso hídrico a cada lote de terreno del fundo teniendo en cuenta la cantidad disponible.	Asignación recurso hídrico a cada lote del fundo	Requerimiento de recurso hídrico según edad de los paltos
					Cantidad de agua disponible
					Tiempo de riego para cada lote

Anexo 2. Mapa de los sectores de terrenos del fundo “El Silencio”- Ayacucho



Anexo 3. Instrumento de recolección de datos

Anexo 3.1. Protocolo de entrevista

Universidad Nacional Mayor de San Marcos			
Facultad de Ciencias Matemáticas			
Escuela de Investigación Operativa			
PROTOCOLO DE ENTREVISTA			
I) DATOS GENERALES:			
Apellidos y nombres del tesista:	Mirella Judith Cabezudo Poma		
Apellidos y nombre del asesor(a):	Mario Edison Ninaquispe Soto		
Título de la investigación	Optimización del recurso hídrico		
II) OBJETIVO			
<p>Recolectar los datos útiles y necesarios en cuanto al sistema de riego con el fin de mejorar el uso del recurso hídrico mediante algoritmos genéticos para minimizar despilfarros de agua en dicho sistema de producción realizando una secuencia de riego y asignación de agua según el tiempo de riego teniendo en cuenta los requerimientos de agua de cada lote perteneciente a una solo sector, la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, el número de lotes a regar y la pendiente de cada lote que influyen en el tiempo de riego. Donde Cromosoma es una cadena de longitud (soluciones) y conjunto de genes, estos genes son cada lote considerado en la investigación.</p>			
III) REFERENCIA TECNICA, CONTEXTUAL Y DEMOGRÁFICA			
Método:	Entrevista	Técnica:	No estructurada
Fecha:			
Duración			
Lugar:			
Contexto:			
Entrevistado:			
Ocupación o cargo:			
IV) PREGUNTAS			

1. Saludo y presentación entre el entrevistador y el entrevistado dando a conocer el objetivo y la finalidad de la entrevista para el trabajo de investigación
2. Preguntas
- ¿Cuántos sectores de terreno tiene el fundo?
- Explíqueme ¿Cuál es la forma en la que está organizada el sector de manera interna?
- ¿De los sectores mencionados cual es el tipo de suelo que tiene el sector pampa, Oyada, faldera y comunal que es la muestra tomada por conveniencia para realizar la investigación?
- ¿Cuál es el número de lotes que tiene cada sector de terreno mencionado?
- De los reservorios que se tiene ¿Cuántos reservorios abastecen a los sectores pampas, Oyada, faldera y comunal?
- ¿Cuál es la cantidad de agua disponible para el riego de los lotes de los sectores pampas, Oyada, faldera y comunal?
- Para los 4 sectores mencionados ¿La edad de las plantaciones de paltas con los que se cuenta en cada lote desde su siembra influye en el tiempo de riego?
- La empresa ha adoptado una forma o política de riego en ese sentido ¿Cuál es la secuencia de riego de los lotes que se tiene en los 4 sectores de terreno?
- Para obtener buenos frutos de paltas se considera factores ¿Cuáles son los costos que se incurren en considerar dichos factores para mantener los sectores de terreno en el periodo actual?
- La empresa ha tenido ya su segunda producción ¿Cuál es el ingreso total de cada uno de los lotes que pertenecen a los 4 sectores considerados?
V) CIERRE
1. Agradecimiento por la información y tiempo brindado
2. Despedida

LOGRO DE OBJETIVOS	
SUGERENCIAS	

Anexo 3.2. Protocolo de entrevista

GUIA DE OBSERVACIÓN				
Fecha de observación:		Tiempo de Observación:	2 h	
Lote observado:		Sector:		
Observador:				
Objetivo				
Recolectar datos mediante la técnica de observación siguiendo los lineamientos establecidos por la guía de observación con la finalidad de obtener lo necesario para el adecuado uso del recurso hídrico con el que se cuenta en el reservorio destinado a abastecer los lotes de los sectores considerados.				
Aspectos que observar	Observación	Nº Indicador	Logro de objetivos	Sugerencias
1. Determinar la cantidad de plantaciones existentes en cada lote		1		
2. Cantidad de frutos que tiene cada lote		1		
3. Determinar el tiempo de riego para cada lote		7		
4. Conocer la cantidad de agua que se consume en cada lote		6		
5. Conocer la edad que tienen las plantaciones desde su siembra en cada lote		6		

Anexo 4. Costos incurridos en las 4 fertilizaciones y otros durante un periodo de 9 meses

FERTILIZACIÓN	PRODUCTO	COSTO (S/)	L1		L2		L3		L4	
			CANT (gr)	COSTO (S/)	CANT (gr)	COSTO (S/)	CANT (gr)	COSTO (S/)	CANT (gr)	COSTO (S/)
1	Fertilblu 25 kg	71.00	77200	219.25	66400	188.58	21200	60.21	31200	88.61
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	7720	29.34	6640	25.23	2120	8.06	7020	26.68
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1930	7.33	1660	6.31	530	2.01	2340	8.89
	Nitrato de amonio 50 kg	90.00	38600	69.48	33200	59.76	10600	19.08	93600	168.48
	TOTAL	351.00		325.40		279.88		9.36		292.66
2	Fertilblu 25 kg	71.00	96500	274.06	83000	235.72	26500	75.26	12480 0	354.43
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	7720	29.34	6640	25.23	2120	8.06	6240	23.71
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1930	7.33	1660	6.31	530	2.01	2340	8.89
	sulpomag granulado 50 kg	85.00	19300	32.81	16600	28.22	5300	9.01	15600	26.52
	TOTAL	346.00		343.54		295.48		94.34		413.56

	Fertilblu 25 kg	71.00	57900	164.44	49800	141.43	15900	45.16	46800	132.91
	Sulfato de potasio 50 kg	120.00	57900	138.96	49800	119.52	15900	38.16	46800	112.32
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	5790	22.00	4980	18.92	1590	6.04	4680	17.78
3	Ácido Bórico 25 kg	95.00	3860	14.67	3320	12.62	1060	4.03	3120	11.86
	Yara mila complex 50kg	180.00								
	TOTAL	561.00		340.07		292.49		93.39		274.87
	Sulfato de potasio 50 kg	120.00	57900	138.96	49800	119.52	15900	38.16	46800	112.32
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	5790	22.00	4980	18.92	1590	6.04	4680	17.78
	Yara mila complex 50 kg	180.00	57900	208.44	49800	179.28	15900	57.24	46800	168.48
4	TOTAL	395.00		369.40		317.72		101.44		298.58
	Quita hierba	50.00	2	700.00	2	700	1	350	1	350
	Personal riego	50.00	1	1,800.00	1	1,800.00	1	1,800.00	1	1,800.00
	Personal /fertilizar	50.00	2	200.00	2	200.00	1	50.00	2	200.00
	TOTAL	150.00		2,700.00		2,700.00		2,200.00		2,350.00

FERTILIZACIÓN	PRODUCTO	COSTO	L5		L6		L7		L8	
			CANT	COSTO	CANT	COSTO	CANT	COSTO	CANT	COSTO
			(gr)	(S/)	(gr)	(S/)	(gr)	(S/)	(gr)	(S/)
1	Fertilblu 25 kg	71.00	22400	63.62	25000	71.00	28200	80.09	32400	92.02
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	5040	19.15	5625	21.38	6345	24.11	7290	27.70
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1680	6.38	1875	S/7.13	2115	8.04	2430	9.23
	Nitrato de amonio 50 kg	90.00	67200	120.96	75000	135.00	84600	152.28	97200	174.96
	TOTAL	351.00		210.11		234.50		264.52		303.91
2	Fertilblu 25 kg	71.00	89600	254.46	100000	284.00	112800	320.35	129600	368.06
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00	4480	17.02	5000	19.00	5640	21.43	6480	24.62
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1680	6.38	1875	7.13	2115	8.04	2430	9.23
	sulpomag granulado 50 kg	85.00	11200	19.04	12500	21.25	14100	23.97	16200	27.54
	TOTAL	346.00		296.91		331.38		373.79		429.46
	Fertilblu 25 kg	71.00		-		-		-		-

	Sulfato de potasio 50 kg	120.00	33600	80.64	37500	90.00	42300	101.52	48600	116.64
3	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00			3750	14.25	4230	16.07	4860	18.47
	Ácido Bórico 25 kg	95.00			1875	7.13	2115	8.04	2430	9.23
	Yara mila complex 50 kg	180.00			37500	135	42300	152.28	48600	174.96
	TOTAL	561.00				246.38		277.91		319.30
	Sulfato de potasio 50 kg	120.00			31250	75.00	35250	84.60	40500	97.20
	Sulfato de Zinc 25 kg	95.00			3125	11.88	3525	13.40	4050	15.39
	Yara mila complex 50 kg	180.00			31250	112.5	35250	126.9	40500	145.8
	TOTAL	395.00				199.38		224.90		258.39
	Quita hierba	50.00			1	350	1	350	2	700
4	Personal riego	50.00			1	1,800.00	1	1,800.00	1	1,800.00
	Personal /fertilizar	50.00			2	200.00	2	200.00	2	200.00
	TOTAL	150.00				2,350.00		2,350.00		2,700.00

FERTILIZACIÓN	PRODUCTO	COSTO	L9		L10		L11	
			CANT (gr)	COSTO (S/)	CANT (gr)	COSTO (S/)	CANT (gr)	COSTO
1	Fertilblu 25 kg	71.00	26200	74.41	80400	228.34	114000	323.76
	Sulfato de zinc 25 kg	95.00	5895	22.40	18090	68.74	25650	97.47
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1965	7.47	6030	22.91	8550	32.49
	Nitrato de amonio 50 kg	90.00	78600	141.48	241200	434.16	342000	615.60
	TOTAL	351.00			245.76			754.15
2	Fertilblu 25 kg	71.00	104800	297.63	321600	913.34	456000	1,295.04
	Sulfato de zinc 25 kg	95.00	5240	19.91	16080	61.10	22800	86.64
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1965	7.47	6030	22.91	8550	32.49
	sulpomag granulado 50 kg	85.00	13100	22.27	40200	68.34	57000	96.90
	TOTAL	346.00			347.28		1,065.70	1,511.07
3	Fertilblu 25 kg	71.00		-		-		-

	Sulfato de potasio 50 kg	120.00	39300	94.32	120600	289.44	171000	410.40
	Sulfato de zinc 25 kg	95.00	3930	14.93	12060	45.83	17100	64.98
	Ácido Bórico 25 kg	95.00	1965	7.47	6030	22.91	8550	32.49
	Yara mila complex 50 kg	180.00	39300	141.48	120600	434.16	171000	615.6
	TOTAL	561.00		258.20		792.34		1,123.47
	Sulfato de potasio 50 kg	120.00	32750	78.60	100500	241.20	142500	342.00
	Sulfato de zinc 25 kg	95.00	3275	12.45	10050	38.19	14250	54.15
	Yara mila complex 50 kg	180.00	32750	117.9	100500	361.8	142500	513
	TOTAL	395.00		208.95		641.19		909.15
	Quita hierba	50.00	1	350	3	1050	4	1,400.00
4	Personal riego	50.00	1	1,800.00	2	3,600.00	2	3,600.00
	Personal /fertilizar	50.00	2	100.00	2	300.00	2	300.00
	TOTAL	150.00		2,250.00		4,950.00		5,300.00

Anexo 5. Código de programación en Python

Anexo 5.1. Código de programación de Algoritmo GRASP

```

import random as rn
import operator
import os
print("*****")
print("_____ALGORITMO GRASP _____")
print("*****")
def seleccion_LRC(B, i, solucion):
    tam_lrc = 3
    LRC = []
    alpha = 0.86
    maxi = max(B)
    mini = min(B)
    r = 0
    raux = 0
    while r <= len(B) - 1:
        if r not in solucion:
            if B[r] <= mini + (alpha * (maxi - mini)):
                LRC.append(r)
            else:
                raux = r
        r = r + 1

    if LRC == []:
        LRC.append(raux)
    return LRC
def seleccion_uniforme(Z):
    if Z == []:
        return []
    elif Z != []:
        return rn.choice(Z)

def solucion_total(A):
    solucion = []

    i = rn.randint(0, len(A) - 1)
    solucion.append(i)
    posicion = i

    for k in range(0, N - 1):
        B = A[i]
        Z = seleccion_LRC(B, i, solucion)
        print("LRC -> ", Z)
        uniforme = seleccion_uniforme(Z)
        solucion.append(uniforme)
        i = uniforme
        print("SOLUCION -> ", solucion)

    print("*****SOLUCION FINAL GRASP*****")
    print(solucion)
    print("*****")

```

Anexo 5.2. Código de programación del Algoritmo Genético

```

def dividir_elemxelem(C, B):
    CB = []
    for i in range(0, len(C)):
        CB.append(C[i] / B[i])
    return CB

def suma_items_matriz(D):
    sum = 0
    for i in range(0, len(D)):
        sum = sum + D[i]
    return sum

def porcentajes(sum_total, list_fitness):
    m_xcentaje = []
    for i in range(0, len(list_fitness)):
        m_xcentaje.append(list_fitness[i] / sum_total)
    return m_xcentaje

def generar_acumulados(porcentajes):
    acumulado = []
    suma = 0
    for i in range(0, len(porcentajes)):
        suma = suma + porcentajes[i]
        acumulado.append(round(suma, 3))
    return acumulado

def evaluacion(sol, A, BC):
    suma = 0
    for i in range(0, len(sol)):
        if i < len(sol) - 1:
            suma = suma + A[sol[i]][sol[i + 1]] * BC[sol[i]]
        else:
            suma = suma + A[sol[i]][sol[0]] * BC[sol[i]]
    return suma

def suma_tiempos(sol, A):
    suma2 = 0
    for j in range(0, len(sol)):
        if j < len(sol) - 1:
            suma2 = suma2 + A[sol[j]][sol[j + 1]]
        elif j == len(sol) - 1:
            suma2 = suma2 + A[sol[j]][sol[0]]
    return suma2

```

```

def imprimir_suma_evaluacion(sol, sumas, fitnes):
    matriz_grande=[]
    for i in range(0, len(sumas)):
        aux = [i, sol[i], sumas[i], fitnes[i]]
        matriz_grande.append(aux)
        aux=[]
        matriz_grande_final=sorted(matriz_grande, key=lambda x:x[2])
    for j in range(0, len(sumas)):
        print(matriz_grande_final[j])

def dividir_elemxelem(C, B):
    CB = []
    for i in range(0, len(C)):
        CB.append(C[i] / B[i])
    return CB

def suma_items_matriz(D):
    sum = 0
    for i in range(0, len(D)):
        sum = sum + D[i]
    return sum

def porcentajes(sum_total, list_fitness):
    m_xcentaje = []
    for i in range(0, len(list_fitness)):
        m_xcentaje.append(list_fitness[i] / sum_total)
    return m_xcentaje

def generar_acumulados(porcentajes):
    acumulado = []
    suma = 0
    for i in range(0, len(porcentajes)):
        suma = suma + porcentajes[i]
        acumulado.append(round(suma, 3))
    return acumulado

def generar_padres(acumulado, soluciones):
    matriz_padres = []
    bandera = False

    for j in range(0, 2):
        if j == 0:
            aleatorio = rn.uniform(0, 1)
            for i in range(0, len(acumulado)):
                if aleatorio < acumulado[i]:
                    padre1 = soluciones[i]
                    matriz_padres.append(padre1)
                    break

```



```

if j == 1:
    while bandera == False:

        aleatorio = rn.uniform(0, 1)
        for k in range(0, len(acumulado)):
            if aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] != padre1:
                padre2 = soluciones[k]
                matriz_padres.append(padre2)
                bandera = True
                break
            elif aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] == padre1 and len(acumulado) - 1 < k + 1:
                break
            elif aleatorio < acumulado[k] and soluciones[k] == padre1:
                padre2 = soluciones[k + 1]
                matriz_padres.append(padre2)
                bandera = True
                break

    return matriz_padres

def generar_padres_general(nro_iter, acumulado, soluciones):
    familia_padres = []
    i = 0
    nro_iter=200
    while i < nro_iter :
        aux = generar_padres(acumulado, soluciones)
        if aux not in familia_padres and [aux[1], aux[0]] not in familia_padres:
            familia_padres.append(aux)
            i = i + 1
    return familia_padres

def creacion_mascaras(matriz_padres_general):
    long_mascara = len(matriz_padres_general[0][0])
    mascarar = []
    for i in range(0, len(matriz_padres_general)):
        mascara = []
        cont_unos = 0
        cont_ceros = 0
        while len(mascara) < long_mascara:
            aux = rn.randint(0, 1)
            if aux == 1:
                if cont_unos < long_mascara - 2:
                    mascara.append(aux)
                    cont_unos += 1
            elif aux == 0:
                if cont_ceros < long_mascara - 2:
                    mascara.append(aux)
                    cont_ceros += 1
        mascarar.append(mascara)
    return mascarar

```

```

def cruzamiento(mascaras, matriz_padres_general):
    cruz1 = []
    cruz2 = []
    cruces = []
    tam_mascara = len(mascaras[0])
    tam_matriz_padres = len(matriz_padres_general)
    for k in range(0, tam_matriz_padres):
        cruz = crear_vector(matriz_padres_general)
        cruz1 = cruz[0]
        cruz2 = cruz[1]
        for i in range(0, tam_mascara):
            if mascaras[k][i] == 1:
                cruz1[i] = matriz_padres_general[k][0][i]
                cruz2[i] = matriz_padres_general[k][1][i]
        for j in range(0, tam_mascara):
            if matriz_padres_general[k][1][j] not in cruz1:
                cruz1[cruz1.index(0.1)] = matriz_padres_general[k][1][j]
            if matriz_padres_general[k][0][j] not in cruz2:
                cruz2[cruz2.index(0.1)] = matriz_padres_general[k][0][j]
        cruces.append([cruz1, cruz2])
    return cruces

def crear_vector(matriz_padres_general):
    cruz1 = []
    cruz2 = []
    for r in range(0, len(matriz_padres_general[0][0])):
        cruz1.append(0.1)
        cruz2.append(0.1)
    return [cruz1, cruz2]

def imprimir_cruces(cruces):
    for i in range(0, len(cruces)):
        print(cruces[i])

def mutacion(hijos):
    aux1 = 1
    aux2 = 2
    mutados = []
    for i in range(0, len(hijos)):
        for j in range(0, 2):
            while aux1 != aux2:
                aux1 = rn.randint(0, len(hijos[0][0]) - 1)
                aux2 = rn.randint(0, len(hijos[0][0]) - 1)
                if aux1 != aux2:
                    break
            else:
                aux1 = 1
                aux2 = 2
            auxiliar = hijos[i][j][aux1]
            hijos[i][j][aux1] = hijos[i][j][aux2]
            hijos[i][j][aux2] = auxiliar
            mutados.append(hijos[i][j])
    return mutados

```

```

A = [[0, 110, 100, 98, 115, 92, 102, 100, 90, 105, 104],
      [98, 0, 100, 95, 110, 105, 100, 98, 89, 95, 80],
      [60, 62, 0, 70, 70, 72, 80, 75, 70, 80, 78],
      [76, 90, 85, 0, 80, 88, 95, 92, 86, 102, 105],
      [100, 105, 92, 95, 0, 100, 90, 120, 120, 90, 95],
      [95, 90, 85, 90, 100, 0, 100, 98, 95, 130, 130],
      [82, 95, 102, 110, 115, 88, 0, 95, 98, 100, 97],
      [90, 92, 86, 80, 100, 90, 90, 0, 92, 110, 120],
      [95, 90, 85, 85, 90, 95, 89, 95, 0, 95, 100],
      [120, 115, 125, 110, 130, 122, 109, 99, 118, 0, 121],
      [120, 132, 125, 130, 130, 128, 130, 130, 128, 120, 0]]

C = [4078.41, 3885.57, 2578.53, 3629.67, 3156.42, 3361.63, 3491.11, 3707.15, 3310.18, 8203.39, 9913.01]
B = [19544.79, 14042.43, 2763.87, 16587.93, 14584.38, 16168.38, 17828.09, 20204.05, 16968.62, 38107.01, 51646.99]

BC = dividir_elemxelem(C, B)
N = len(A)
soluciones = soluciones_totales(A)
N_sol = len(soluciones)
lst_result_fitness = []
lst_result_suma_tiempos = []

for i in range(0, N_sol):
    lst_result_fitness.append(evaluacion(soluciones[i], A, BC))
    lst_result_suma_tiempos.append(suma_tiempos(soluciones[i], A))

print("*****")
print("_____ALGORITMO GENÉTICO_____")
print("*****")
print('*****Soluciones Fitness*****')
print(lst_result_fitness)
print('*****Suma tiempos*****')
imprimir(lst_result_suma_tiempos)
sum_lst_result_fitness = suma_items_matriz(lst_result_fitness)
print('*****Suma de soluciones Fitness*****')
print(sum_lst_result_fitness)
matriz_xcentaje = porcentajes(sum_lst_result_fitness, lst_result_fitness)
print('*****Matriz Porcentajes*****')
print(matriz_xcentaje)
fitness_acumulado = generar_acumulados(matriz_xcentaje)
print('*****Matriz Porcentajes Acumulados*****')
print(fitness_acumulado)

```

```

print('*****Matriz General Padres*****')
nro_iter = 5
matriz_padres_general = generar_padres_general(nro_iter, fitness_acumulado, soluciones)
print(matriz_padres_general)
print(len(matriz_padres_general))
print("*****Cruzamiento*****")
mascaras = creacion_mascaras(matriz_padres_general)
imprimir_padres_con_mascara(matriz_padres_general, mascaras)
print("*****IMPRIENDO CRUCES*****")
cruces = cruzamiento(mascaras, matriz_padres_general)
imprimir_cruces(cruces)
print("*****MUTACIÓN*****")
mutados = mutacion(cruces)
imprimir(mutados)
print("*****EVALUACION FITNESS2*****")
lst_result_fitness2 = []
lst_result_suma_tiempos2 = []
for i in range(0, len(mutados)):
    lst_result_fitness2.append(evaluacion(mutados[i], A, BC))
    lst_result_suma_tiempos2.append(suma_tiempos(mutados[i], A))
imprimir(lst_result_fitness2)
print("*****EVALUACION SUMA TIEMPO*****")
imprimir_suma_evaluacion(mutados,lst_result_suma_tiempos2,lst_result_fitness2)

```