

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“SELECCIÓN, ZONIFICACIÓN DE PLANTAS Y
PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL AHORRO DEL AGUA EN
LOS JARDINES DE LA UNALM”**

Presentado por:

BACH. RAYAN RENATO FIGUEROA ASENCIOS

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima-Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“SELECCIÓN, ZONIFICACIÓN DE PLANTAS Y
PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL AHORRO DEL AGUA EN
LOS JARDINES DE LA UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. RAYAN RENATO FIGUEROA ASENCIOS

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ABSALÓN VÁSQUEZ VILLANUEVA
Presidente

Mg. Sc. CARLOS FERNANDO BULNES SORIANO
Miembro

Ing. JOSÉ BERNARDINO ARAPA QUISPE
Miembro

Mg. Sc. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Asesor

LIMA – PERU

2019

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Olinda y Freddy y mis hermanos Freddy y Renzo por el apoyo en cada paso de mi vida y los consejos brindados.

A mi asesor el Ing. David Ascencios quiero expresar mi agradecimiento por el apoyo continuo en el proceso de elaboración y culminación de esta tesis.

A mis amigos María Fernanda y Luis por su apoyo y brindarme su tiempo en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	3
1.1	OBJETIVOS	4
1.1.1	Objetivo general.....	4
1.1.2	Objetivos específicos	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1	ANTECEDENTES.....	5
2.2	LA FOTOSÍNTESIS.....	8
2.2.1	Reacciones dependientes de luz y el ciclo de Calvin	8
2.2.2	Plantas de metabolismo fotosintético C ₃	9
2.2.3	Plantas de metabolismo fotosintético C ₄	10
2.2.4	Plantas de metabolismo fotosintético CAM	10
2.3	COMPARACIONES ENTRE PLANTAS C ₃ , C ₄ Y CAM.....	11
2.4	Necesidad de agua en las plantas de jardín	11
2.4.1	Evapotranspiración del cultivo de referencia	12
2.4.2	Evapotranspiración de cultivo	12
2.5	MÉTODO DEL COEFICIENTE DE JARDÍN.....	12
2.5.1	Factor de especie.....	13
2.5.2	Factor de densidad	14
2.5.3	Factor de microclima	15
2.6	NECESIDADES NETAS DE RIEGO	16
2.7	PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO Y TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO.....	17
2.7.1	Determinación del cociente de consistencia	19
2.8	COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	21
2.8.1	Fuentes de abastecimiento de agua.....	21
2.8.2	Cabezal de riego	21
2.8.3	Red de distribución	21
2.8.4	Emisores	21

2.9	PROGRAMACIÓN DE RIEGO.....	22
2.9.1	Eficiencia de aplicación del sistema de riego.....	22
2.9.2	Lámina bruta de riego.....	22
2.9.3	Tiempo de riego.....	22
2.9.4	Caudal a nivel de válvula.....	23
2.10	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
2.10.1	Función del SIG como sistema de consulta.....	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1	ÁREA DE ESTUDIO.....	24
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	25
3.3	INFORMACIÓN GENERAL.....	26
3.3.1	Fuente de agua.....	26
3.3.2	Calidad de agua y tipo de suelo.....	26
3.3.3	Variables meteorológicas.....	26
3.3.4	Oferta de agua.....	27
3.4	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESPECIES DE PLANTAS.....	27
3.5	IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS.....	27
3.6	DEMANDA ACTUAL DE LOS JARDINES.....	28
3.6.1	Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET _o).....	28
3.6.2	Determinación del coeficiente del jardín (K _J).....	28
3.6.3	Determinación de la evapotranspiración del jardín (ET _J).....	29
3.7	BALANCE HÍDRICO ACTUAL DE LOS JARDINES.....	29
3.8	MÉTODO DE PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS.....	29
3.8.1	AHP para selección de especies de árboles.....	30
3.8.2	AHP para selección de especies de cubresuelos.....	33
3.8.3	AHP para la selección de especies de césped.....	35
3.9	ZONIFICACIÓN DE ÁREAS VERDES SEGÚN SU USO.....	38
3.10	DEMANDA DE LOS JARDINES CON LAS NUEVAS ESPECIES SELECCIONADAS.....	38

3.10.1	Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET _o) de las nuevas especies seleccionadas	38
3.10.2	Determinación del coeficiente del jardín (K _J) de las nuevas especies seleccionadas	39
3.10.3	Determinación de la evapotranspiración del jardín de las nuevas especies seleccionadas (ET _J)	39
3.11	BALANCE HÍDRICO DE LOS JARDINES CON LAS NUEVAS ESPECIES SELECCIONADAS	39
3.12	PROGRAMACIÓN DE RIEGO.....	40
3.13	ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE CONSULTA SIG DE ESPECIES DE PLANTAS.....	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	INFORMACIÓN GENERAL.....	43
4.1.1	Fuente de agua	43
4.1.2	Calidad de agua y tipo de suelo	43
4.1.3	Variables meteorológicas.....	44
4.1.4	Oferta de agua.....	47
4.2	DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ESPECIE DE PLANTAS	48
4.3	IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PLANTAS	49
4.3.1	Identificación de especies de árboles con su respectivo k _s	49
4.3.2	Identificación de especies de palmeras con su respectivo k _s	51
4.3.3	Identificación de especies de césped con su respectivo k _s	51
4.4	DEMANDA ACTUAL DE LOS JARDINES	51
4.4.1	Determinación de la evapotranspiración de referencia.....	51
4.4.2	Determinación del coeficiente del jardín (K _J).....	52
4.4.3	Determinación de la demanda de agua	53
4.5	BALANCE HÍDRICO ACTUAL DE LOS JARDINES	54
4.6	MÉTODO DE PROCESO ANALÍTICO JERARQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS	55
4.6.1	Especies de árboles	55

4.6.2	Especies de cubresuelos.....	68
4.6.3	Especies de césped.....	72
4.7	ZONIFICACIÓN DE AREAS VERDES SEGÚN EL TIPO DE USO Y ESPECIES DE PLANTAS A IMPLEMENTAR.....	79
4.8	DEMANDA DE LOS JARDINES CON LAS ESPECIES SELECCIONADAS A IMPLEMENTAR.....	82
4.8.1	Determinación de la evapotranspiración de referencia.....	82
4.8.2	Determinación del nuevo coeficiente del jardín (KJ).....	82
4.8.3	Determinación de la nueva demanda de agua.....	84
4.9	NUEVO BALANCE HÍDRICO DE LOS JARDINES	90
4.10	FORMULACIÓN DE LA NUEVA PROGRAMACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	92
4.11	SISTEMA DE CONSULTA SIG.....	97
V.	CONCLUSIONES	101
VI.	RECOMENDACIONES	103
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
VIII.	ANEXOS	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Comparación entre las plantas C ₃ , C ₄ y CAM	11
Cuadro 2: Rangos del factor especie (ks).....	13
Cuadro 3: Rangos del factor densidad (kd).....	14
Cuadro 4: Rangos del factor de microclima (kmc)	15
Cuadro 5: Clasificación de importancia relativa	18
Cuadro 6: Clasificación de prioridad	29
Cuadro 7: Clasificación de prioridad de criterios de especies de árboles	30
Cuadro 8: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de árboles.....	31
Cuadro 9: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de árboles.....	31
Cuadro 10: Criterio: Mantenimiento para especies de árboles	31
Cuadro 11: Criterio: Tipo de copa para especies de árboles.....	32
Cuadro 12: Clasificación de importancia entre alternativas	32
Cuadro 13: Clasificación de prioridad de criterios de especies de cubresuelos.....	34
Cuadro 14: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de cubresuelos	34
Cuadro 15: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de cubresuelos	34
Cuadro 16: Criterio: mantenimiento para especies de cubresuelos	34
Cuadro 17: Clasificación de prioridad de criterios de césped.....	36
Cuadro 18: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de césped	36
Cuadro 19: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de césped	37
Cuadro 20: Sub-criterio: Resistencia a la sombra para especies de césped.....	37
Cuadro 21: Sub-criterio: Resistencia al pisoteo para especies de césped	37
Cuadro 22: Criterio: mantenimiento para especies de césped	37
Cuadro 23: Parámetros microbiológicos	44
Cuadro 24: Resumen de variables meteorológicas promedio de la estación Von Humboldt (2001-2015)	47
Cuadro 25: Oferta mensual para las áreas de jardines	48
Cuadro 26: Oferta semanal para las áreas de jardines	48
Cuadro 27: Especies de árboles con sistema de riego.....	50

Cuadro 28: Especies de palmeras con sistema de riego	51
Cuadro 29: Especies de césped con sistema de riego	51
Cuadro 30: ETo (2001-2015).....	52
Cuadro 31: Demanda de agua de los jardines	53
Cuadro 32: Balance hídrico mensual para los jardines	54
Cuadro 33: Balance hídrico semanal para los jardines	54
Cuadro 34: Alternativas de especies de árboles.....	55
Cuadro 35: Categorías y clasificación de prioridad de especies de árboles.....	64
Cuadro 36: Agrupación de especies de árboles	67
Cuadro 37: Alternativas de especies de cubresuelos	68
Cuadro 38: Categorías y clasificación de prioridad de especies de cubresuelos	70
Cuadro 39: Agrupación de especies de cubresuelos	71
Cuadro 40: Alternativas de especies de césped	73
Cuadro 41: Categorías y clasificación de prioridad de especies de césped	75
Cuadro 42: Agrupación de especies de césped	78
Cuadro 43: Uso de áreas verdes y especies de césped o cubresuelos por válvulas de riego	79
Cuadro 44: Porcentaje de áreas según el tipo de uso	81
Cuadro 45: Especies de árboles y palmeras integradas.....	81
Cuadro 46: KJ para cada válvula de riego	83
Cuadro 47: KJ para la nueva demanda de agua	84
Cuadro 48: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,80.....	86
Cuadro 49: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,70.....	86
Cuadro 50: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,64.....	87
Cuadro 51: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,60.....	87
Cuadro 52: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,50.....	88
Cuadro 53: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,40.....	88
Cuadro 54: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,30.....	89
Cuadro 55: Demanda total de agua en los jardines	89
Cuadro 56: Nuevo balance hídrico mensual de los jardines	90

Cuadro 57: Nuevo balance hídrico semanal de los jardines	90
Cuadro 58: Programación de riego por mes y turno	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: La fotosíntesis	8
Figura 2: Esquema de reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin	9
Figura 3: Necesidad de agua de las plantas.....	12
Figura 4: Paisajes de alta y baja densidad	15
Figura 5: Microclimas en ciudades	16
Figura 6: Modelo de estructura jerárquica del problema	18
Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología AHP	20
Figura 8: Ubicación geográfica del área de estudio	24
Figura 9: Modelo de estructura jerárquica para las especies de árboles	30
Figura 10: Modelo de estructura jerárquica para las especies de cubresuelos	33
Figura 11: Modelo de estructura jerárquica para las especies de césped	36
Figura 12: Elaboración del sistema de consulta – 1	41
Figura 13: Elaboración del sistema de consulta – 2	42
Figura 14: Temperatura mínima y máxima diaria promedio (2001-2015)	45
Figura 15: Horas diarias de sol promedio (2001-2015).....	45
Figura 16: Humedad relativa promedio (2001-2015)	45
Figura 17: Velocidad del viento promedio (2001-2015).....	46
Figura 18: Acumulado de precipitación mensual promedio (2001-2015)	46
Figura 19: ETo de California y de la estación Von Humboldt	49
Figura 20: VP entre criterios de especies de árboles.....	65
Figura 21: VPG de especies de árboles.....	66
Figura 22: VP entre criterios de especies de cubresuelo	70
Figura 23: VPG de especies de cubresuelos.....	71
Figura 24: VP de los criterios de especies de césped.....	76
Figura 25: VP de los sub-criterios del criterio de funcionalidad.....	76
Figura 26: VP del criterio de funcionalidad de las especies de césped.....	77
Figura 27: VPG de especies de césped.....	77
Figura 28: Zonificación de áreas verdes según el tipo de uso.....	80

Figura 29: Zonificación según el coeficiente de jardín	85
Figura 30: Demanda hídrica mensual de los jardines de la UNALM	92
Figura 31: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 1	98
Figura 32: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 2	99
Figura 33: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 3	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Variables meteorológicas para el periodo 2001-2015, obtenido de la estación meteorológica Von Humboldt y procesamiento en CROPWAT 8.0.....	109
Anexo 2: Mapa de Evapotranspiración de referencia del estado de California	112
Anexo 3: Registro fotográfico de las especies de árboles y palmeras identificadas en la UNALM	113
Anexo 4: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de árboles.	126
Anexo 5: AHP para especies de árboles	127
Anexo 6: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de cubresuelos.	138
Anexo 7: AHP para especies de cubresuelos	139
Anexo 8: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de césped.	141
Anexo 9: Determinación de la matriz comparación de sub-criterios usados en las especies de césped.....	142
Anexo 10: AHP para especies de césped	142
Anexo 11: Zonificación de las especies de plantas en los jardines de la UNALM	145

RESUMEN

El conocimiento de las necesidades hídricas en los jardines y el ahorro del agua contribuyen a la conservación de este recurso. Es por esta razón que es importante identificar las especies de plantas existentes e incorporar especies adecuadas según el clima y tipo de uso del área verde para realizar una correcta programación de riego.

El presente trabajo presenta la identificación y selección de plantas de bajo requerimiento hídrico y resistentes a sequías; la zonificación de las áreas verdes; y la programación de riego, para lograr el ahorro del agua en los jardines de la UNALM.

De esta forma, se identificó 47 especies de árboles, cuatro especies de palmeras y cuatro especies de césped en las áreas verdes que contaban con sistema de riego por aspersión en la UNALM para junio/julio 2017. Mediante el proceso analítico jerárquico, se seleccionó un total de nueve especies de árboles, dos especies de cubresuelos y dos especies de césped, las cuales fueron consideradas como muy recomendables pues cumplían con los criterios específicos por cada tipo de planta. Las áreas verdes de la UNALM se zonificaron según el tipo de uso, entre utilitario para deporte (28,4 %), utilitario para descanso (63,3 %) y paisajístico (8,3 %). Además, se elaboró un sistema de consulta de las especies de plantas identificadas y propuestas para cada zona. Finalmente, se formuló la programación de riego por aspersión y se comparó el balance hídrico actual y propuesto, lo que muestra que la demanda anual propuesta de los jardines en la UNALM es aproximadamente el 85 % de la demanda anual actual.

Palabras Clave: selección de especies de plantas, zonificación, coeficientes de especies de plantas, proceso analítico jerárquico, programación de riego.

ABSTRACT

The knowledge of landscape's water needs and water saving contributes to the conservation of this resource. For this reason, it is important to identify existing plant species and incorporate suitable species according to the local climate and the type of landscapes' use, in order to plan a proper irrigation schedule.

The following work presents the identification and selection of low water requirement and drought resistant plants; the zoning of landscapes; and, an irrigation program, in order to achieve water saving in the UNALM gardens.

In this way, 47 tree species, four palm tree species and four grass species were identified in the UNALM gardens that had sprinkler irrigation system from June to July 2017. Using the analytical hierarchical process, nine tree species, two ground cover species and two grass species were selected, which fulfilled the specific criteria for each type of plant. The UNALM gardens were zoned between utilitarian for sports (28,4 %), utilitarian for rest (63,3 %) and landscape (8,3 %). In addition, a consultation system of the identified and proposed plant species for each area was developed. Finally, a sprinkler irrigation schedule was formulated, and the current and proposed water balance were compared, which shows that the new annual demand for the UNALM gardens is, approximately, 85 % of the current annual demand.

Keywords: selection of plant species, landscape's zoning, plant species' coefficients, analytical hierarchical process, irrigation scheduling

I. INTRODUCCIÓN

Lima, con más de 9 millones de habitantes y ubicada en una zona desértica, se abastece principalmente de agua de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. La gran problemática ambiental que presenta Lima es la escasez de agua, por lo que se deben aplicar todos los medios posibles para su ahorro.

Las áreas verdes están formadas por numerosas y variadas especies de plantas, como árboles, arbustos y cubresuelos. Para la manutención de estas, se debe aportar únicamente la cantidad de agua suficiente para asegurar el estado aceptable de las plantas.

Según Sorensen *et al.* (1998), el buen mantenimiento de las áreas verdes conlleva numerosos beneficios como: la reducción de algunos contaminantes atmosféricos; la absorción del ruido al crear barreras que desvían el sonido; la provisión de sitios de recreación; impactos positivos sobre la salud física, como disminución de las enfermedades respiratorias; la producción de bienestar por la conexión entre la gente y sus ambientes, promoviendo salud mental y productividad en trabajadores; y, la reducción del efecto “isla de calor urbano” (Abkari et al. 1992).

La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) tiene problemas con el abastecimiento de agua, cuyo principal uso es el riego de los campos agrícolas y jardines ornamentales. En la actualidad, se cuenta con reservorios para garantizar la disponibilidad de agua y distribuirla, mediante sistema de aspersión, aproximadamente a las 15,03 ha de áreas verdes. El césped es el componente de mayor extensión y el que más agua consume. Es por esta razón que es necesario tomar medidas para lograr el ahorro del agua en la UNALM, como limitar el uso del agua o cambiar a una especie de menor requerimiento hídrico, dependiendo del uso que recibe el jardín, y agruparla con especies de plantas con requerimientos hídricos similares (hidrozonas).

El conocimiento de las necesidades hídricas de un jardín es necesario por tres razones: colabora con la conservación del agua, el cual es un recurso natural limitado; es económico, debido a que el costo del agua sigue aumentando; y, mantiene la calidad del paisaje, porque al identificar y conocer las necesidades de las plantas se reduce el daño causado por déficit o exceso de agua (Water use classification of landscape species, 2000).

El presente trabajo selecciona plantas de bajo requerimiento hídrico y resistentes a sequías usando el proceso analítico jerárquico, zonifica las áreas verdes según el tipo de uso (paisajístico o utilitario), y realiza una propuesta de programación de riego, para lograr el ahorro del agua en los jardines de la UNALM.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Seleccionar plantas de bajo requerimiento hídrico y resistentes a sequías; zonificar las áreas verdes según el tipo de uso; y, realizar una propuesta de programación de riego, para lograr el ahorro del agua en los jardines de la UNALM.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar las especies de árboles, palmeras y césped en la UNALM y seleccionar especies de plantas con bajo requerimiento hídrico y resistentes a sequías.
- Zonificar áreas verdes según el tipo de uso y elaborar un sistema de consultas de las especies de plantas identificadas y propuestas para cada zona.
- Comparar el balance hídrico actual y propuesto, y formular la programación de riego por aspersión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

a. Guía de estimación de las necesidades hídricas de las plantas del jardín para riego en California: Método del coeficiente del jardín

Costello y Jones (1994) introdujeron una metodología práctica para la estimación de las necesidades hídricas de las plantas, conocida como *Water Use Classifications of Landscape Species* (WUCOLS). Esta metodología se basa en la evaluación de expertos para estimar las necesidades hídricas de las plantas en zonas urbanas y, así, satisfacer las expectativas estéticas, de salud y de crecimiento. El coeficiente de jardín para WUCOLS se deriva de la siguiente ecuación:

$$ETJ = ETo \times KJ$$

Donde:

ETJ es la evapotranspiración del jardín;

ETo es la evapotranspiración de cultivo de referencia; y,

KJ es el coeficiente de jardín que está en función de tres factores: especie, densidad y microclima.

Cabe mencionar que el coeficiente de jardín difiere del coeficiente de cultivo. Este último se deriva de mediciones in situ y cálculos, mientras que el coeficiente de jardín se basa en observaciones de campo. Además, el coeficiente de cultivo no considera la variedad de especies, la densidad de los cultivos ni el microclima. Asimismo, el coeficiente de cultivo se mide generalmente bajo condiciones óptimas de riego para mantener el mayor rendimiento.

b. Guía para la programación del riego en jardines

El estudio de IMIDA (2006) muestra que, en la región de Murcia, la demanda de agua es mayor que los recursos existentes por lo que es necesario aplicar todos los medios posibles para su ahorro y uso eficiente. Durante las últimas décadas, la superficie ajardinada en la región se ha incrementado debido al incremento de viviendas unifamiliares con parcelas ajardinadas y de la demanda de parques y jardines urbanos.

La programación eficiente del riego responde básicamente a dos procesos: el cálculo preciso de la dosis de riego y la determinación del momento de aplicación de dicho riego. Para poder lograr esto, se ha contemplado la clasificación de las especies utilizadas en jardinería según sus necesidades hídricas: bajas, medias o elevadas. Es con esto que se concluye que en una determinada zona de riego deberían cultivarse plantas de una misma categoría, pues la mezcla de especies de bajas necesidades con otras de necesidades mayores conllevaría el exceso de riego para unas y la infradotación para otras.

c. Las necesidades hídricas de las plantas en los paisajes urbanos: una comparación de tres enfoques basados en factores

Los suministros de agua para el riego se utilizan, principalmente, para mantener la salud y apariencia estética de la vegetación. Es común estimar las necesidades hídricas de los cultivos agrícolas pero no los de la vegetación en zonas urbanas. La vegetación en zonas urbanas, por lo general, se compone de una mezcla de árboles, arbustos y césped de diferentes especies y demanda de agua.

El estudio de Nouri *et al.* (2013), realizado en los jardines de Veale, dentro de Adelaide Parklands en Australia del Sur, recogió datos climáticos, de vegetación in situ y datos de monitoreo de riego (proporcionados por la autoridad local del agua).

En dicho estudio se calculó tres factores de ajuste para la evapotranspiración de referencia estimada, los cuales se utilizaron para comparar las tasas de riego previstas y actuales. Los factores de ajuste fueron un coeficiente de jardín con base en el método WUCOLS, un factor de planta con base en el método *Plant Factor* (PF) y un factor de estrés de cosecha con base en el método *Irrigated Public Open Space* (IPOS).

Los resultados mostraron que el método IPOS obtuvo la estimación más baja de riego bruto en contraste con el método WUCOLS, la cual produjo la estimación más alta. Dado que los niveles estéticos aceptables se lograron mediante una aplicación anual de 770 mm de agua de riego, los resultados confirman que, para el área de estudio, el método WUCOLS produjo la mejor estimación de las necesidades hídricas para la vegetación urbana.

d. Método de selección de plantas para los paisajes urbanos de ciudades semiáridas (caso de estudio en Teherán)

La elección de plantas apropiadas para los paisajes urbanos es vital para evitar posibles pérdidas económicas y ambientales; es por esta razón que la Universidad de Teherán desarrolló una metodología para ayudar en el proceso de selección de plantas. Teherán fue elegido caso de estudio debido a su clima árido y semiárido.

Después de agrupar las plantas, se definió parámetros de selección para cada grupo de plantas. Las especies de plantas fueron clasificadas comparativamente para cada parámetro asignado por un grupo de ocho especialistas. Se utilizó el proceso analítico jerárquico para encontrar las especies más adaptables para el área de acuerdo con los principales parámetros de selección: tolerancia a la zona, condiciones urbanas, estética, mantenimiento, características de crecimiento y funciones específicas. Varias nuevas plantas obtuvieron puntajes altos, lo que sugiere que el paisaje urbano de Teherán tiene un gran potencial para ser más atractivo, menos alérgico y menos costoso; así como, tener un menor consumo de agua (Asgarzadeh *et al.* 2014).

e. Las necesidades de agua en los paisajes urbanos en un entorno árido: el ejemplo de un jardín botánico y un parque forestal

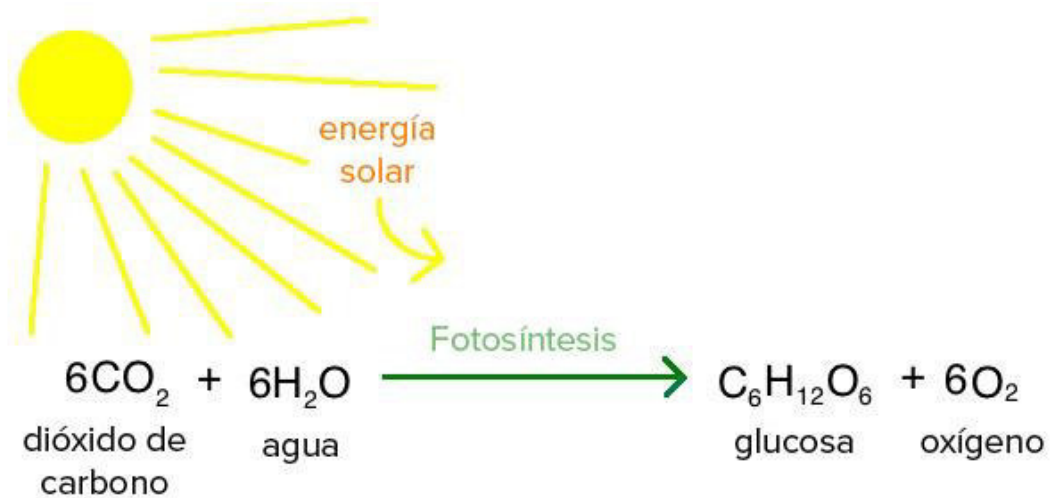
La creación y conservación de parques urbanos es un desafío en ambientes áridos: las extremas temperaturas diarias, la escasez de agua, la contaminación del aire y la escasez de espacios verdes naturales son problemas críticos. La escasez de agua en las regiones áridas de Irán es un gran desafío para los administradores del agua. Es por esta razón que la estimación precisa de la evapotranspiración del paisaje urbano es de importancia crítica para las ciudades ubicadas en entornos naturalmente secos, para lograr gestionar adecuadamente las prácticas de riego. La investigación de (Shojaei *et al.* 2018) se centró en dos enfoques basados en factores para medir la demanda de agua de dos paisajes urbanos heterogéneos, un jardín botánico y un parque forestal escaso, los cuales fueron: la clasificación de uso de agua de especies de paisajes (WUCOLS) y el Programa de gestión de riego de paisajes (LIMP, por sus siglas en inglés *Landscape Irrigation Management Program*). El volumen de agua de riego aplicado se comparó con la demanda bruta de agua de 2011 a 2013. En esta investigación, con WUCOLS se estimó que el requerimiento anual de agua de un

jardín botánico y un parque forestal escaso es un 5% y un 44% más bajo, respectivamente, que con el método LIMP. La comparación de la irrigación estimada y aplicada mostró que los ahorros de agua se pueden lograr con el método LIMP. Los resultados de esta investigación hicieron hincapié en la necesidad de modificar los requisitos de riego en función de la lluvia efectiva durante todo el año, en lugar de confiar en los datos promedio a largo plazo.

2.2 LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es el proceso en el cual la energía de la luz se convierte en energía química en forma de azúcares. Es un proceso impulsado por la energía de la luz, donde se forman moléculas de glucosa (y otros azúcares) a partir de agua y dióxido de carbono, mientras que se libera oxígeno como subproducto. Las moléculas de glucosa proporcionan a los organismos dos recursos cruciales: energía y carbono fijo (orgánico) (Khan Academy 2019) (**Figura 1**).

Figura 1: La fotosíntesis



Fuente: (Khan Academy 2019)

2.2.1 Reacciones dependientes de luz y el ciclo de Calvin

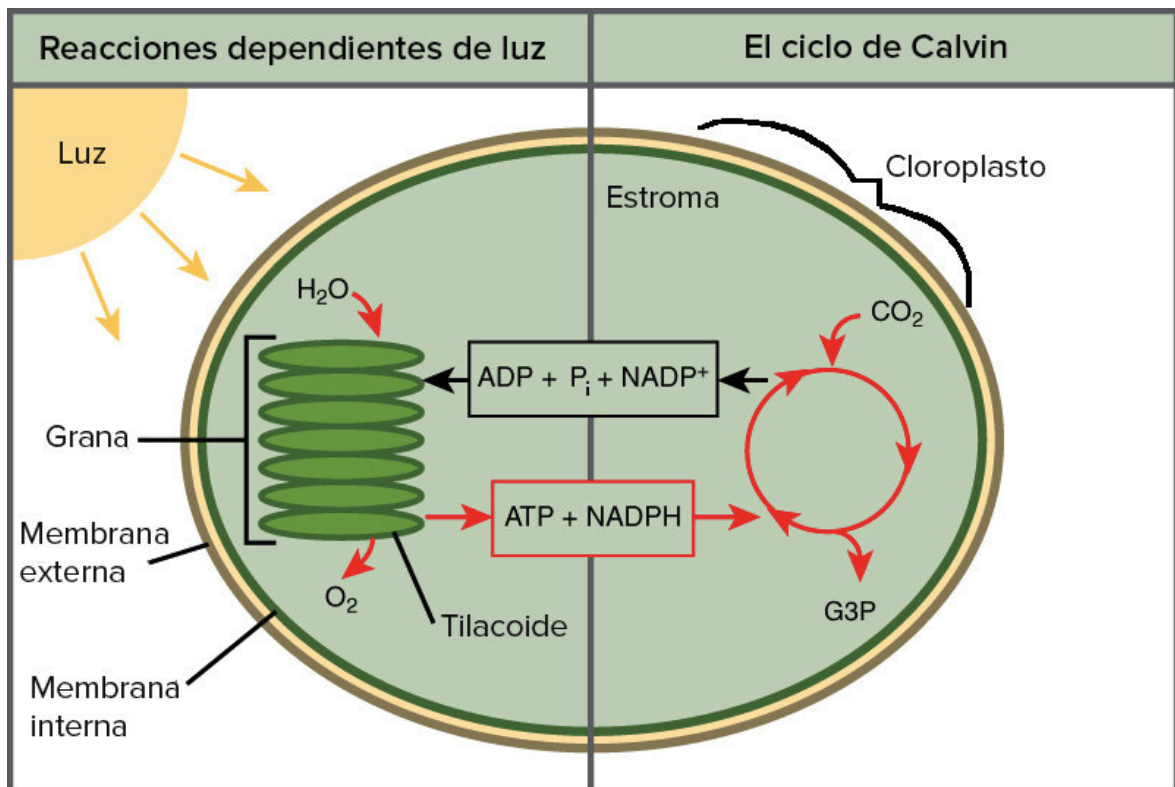
La fotosíntesis en las hojas de las plantas puede dividirse en dos etapas: las reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin (**Figura 2**).

- Las reacciones dependientes de la luz se producen en la membrana de los tilacoides y necesitan un suministro continuo de energía luminosa. La clorofila absorbe esta energía luminosa, que se convierte en energía química mediante la formación de dos

compuestos: Adenosín Trifosfato (ATP), una molécula de almacenamiento de energía, y Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato (NADPH), un portador de electrones reducido. En este proceso, las moléculas de agua se convierten en gas oxígeno (Khan Academy 2019).

- El ciclo de Calvin, también llamado reacciones independientes de la luz, se lleva a cabo en el estroma y no necesita luz directamente. El ciclo de Calvin utiliza el ATP y NADPH de las reacciones dependientes de la luz para fijar el dióxido de carbono y producir azúcares de tres carbonos -moléculas de gliceraldehído-3-fosfato, o G3P que se unen para formar la glucosa (Khan Academy 2019).

Figura 2: Esquema de reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin



Fuente: (Rice University 2019)

2.2.2 Plantas de metabolismo fotosintético C₃

Una planta que no tiene adaptaciones fotosintéticas para reducir la fotorrespiración se llama planta C₃. El primer paso del ciclo de Calvin es la fijación de dióxido de carbono mediante la enzima rubisco, y las plantas que utilizan solo este mecanismo "estándar" de fijación de carbono se llaman plantas C₃ por el compuesto de tres carbonos (3-PGA) que

produce la reacción. Aproximadamente el 85% de las especies de plantas del planeta son C₃, como arroz, trigo, soya y todos los árboles (Khan Academy 2019).

2.2.3 Plantas de metabolismo fotosintético C₄

En las plantas C₄, las reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin están separadas físicamente: las reacciones dependientes de la luz se producen en las células del mesófilo (tejido esponjoso en el centro de la hoja) y el ciclo de Calvin ocurre en células del haz vascular ubicadas alrededor de las venas de la hoja.

En la fotosíntesis de las plantas C₄, el CO₂ atmosférico se fija en las células del mesófilo para formar un ácido orgánico simple de 4 carbonos (oxaloacetato). Este paso se lleva a cabo mediante una enzima, PEP carboxilasa, que no tiende a unirse al O₂. Después, el oxaloacetato se convierte en una molécula similar, malato, que puede transportarse hacia las células del haz vascular. Dentro de estas, el malato se descompone y libera una molécula de CO₂. Luego, la rubisco fija el CO₂ y lo convierte en azúcares a través del ciclo de Calvin, exactamente como en la fotosíntesis de las plantas C₃ (Khan Academy 2019).

2.2.4 Plantas de metabolismo fotosintético CAM

Algunas plantas adaptadas a ambientes secos, como las cactáceas y piñas, utilizan la vía del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) para reducir al mínimo la fotorrespiración. Este nombre proviene de la familia de las plantas crasuláceas, en las cuales los científicos descubrieron por primera vez esta vía.

En vez de separar las reacciones dependientes de la luz y el uso de CO₂ en el ciclo de Calvin en el espacio, las plantas CAM separan estos procesos en el tiempo. Por la noche, abren sus estomas para que el CO₂ se difunda en las hojas. Este CO₂ se fija en el oxaloacetato mediante la PEP carboxilasa (el mismo paso que usan las plantas C₄), que luego se convierte en malato o un ácido orgánico de otro tipo.

El ácido orgánico se almacena dentro de vacuolas hasta el día siguiente. Durante el día, las plantas CAM no abren sus estomas, pero todavía pueden llevar a cabo la fotosíntesis. Eso se debe a que los ácidos orgánicos se transportan fuera de las vacuolas y se descomponen para liberar CO₂, que entra en el ciclo de Calvin. Esta liberación controlada mantiene una alta concentración de CO₂ alrededor de la rubisco (Khan Academy 2019).

2.3 COMPARACIONES ENTRE PLANTAS C₃, C₄ Y CAM

Las plantas C₃, C₄ y CAM utilizan el ciclo de Calvin para formar azúcares a partir de CO₂. Estas vías para fijar CO₂ tienen varias ventajas, desventajas y permiten que las plantas estén aptas para diferentes hábitats. En el **Cuadro 1** se presenta las comparaciones entre las plantas C₃, C₄ y CAM (Khan Academy 2019).

Cuadro 1: Comparación entre las plantas C₃, C₄ y CAM

Tipo	Separación de la fijación inicial de CO ₂ y el ciclo de Calvin	Estomas abiertos	Mejor adaptados a
C ₃	No hay separación	Día	Ambientes frescos y húmedos
C ₄	Entre el mesófilo y las células del haz vascular (en el espacio)	Día	Ambientes cálidos y soleados
CAM	Entre el día y la noche (en el tiempo)	Noche	Ambientes muy cálidos y secos

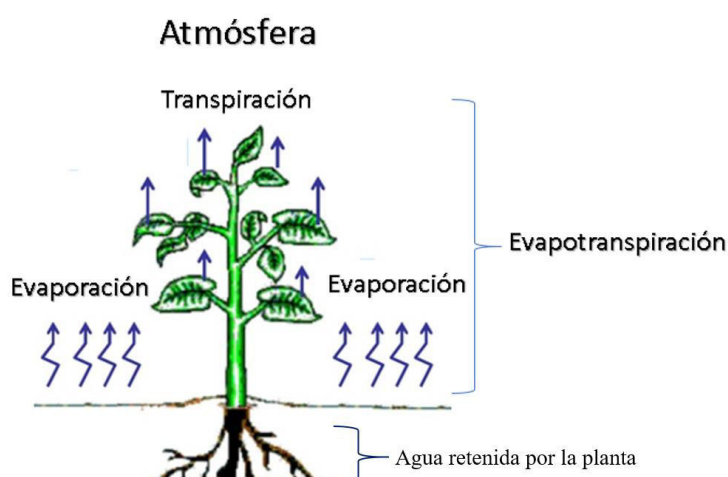
Fuente: (Khan Academy 2019)

2.4 NECESIDAD DE AGUA EN LAS PLANTAS DE JARDÍN

Según Martin *et al.* (sf), del agua absorbida por las plantas, una pequeña parte es retenida y utilizada en los procesos de crecimiento y fotosíntesis; el resto, se pierde por transpiración. Además, desde las capas más superficiales del suelo se produce una evaporación a la atmósfera.

La cantidad de agua empleada en los procesos de transpiración y evaporación suele considerarse de manera conjunta por la dificultad de calcularlas por separado. Se considera que las necesidades de agua de un jardín están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo y de la transpiración de las plantas (**Figura 3**).

Figura 3: Necesidad de agua de las plantas



2.4.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas (Allen *et al.* 2006).

2.4.2 Evapotranspiración de cultivo

La evapotranspiración de cultivo (ET_c) indica la tasa de evapotranspiración de un cultivo, exento de enfermedades, que crece en un campo extenso en condiciones óptimas de suelo y con agua suficiente. En este cultivo se llega al potencial de plena producción de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes (Allen *et al.* 2006).

La ET_c se define por la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde, K_c es el coeficiente de cultivo.

2.5 MÉTODO DEL COEFICIENTE DE JARDÍN

El método utilizado para la estimación de las necesidades de agua de las plantas de un jardín es, básicamente, el mismo que el utilizado para los cultivos y el césped. La fórmula de la ET_c , para jardines (denominada ET_j), utiliza el coeficiente de jardín (K_j), en lugar de utilizar el K_c .

La evapotranspiración de jardín (ETJ) se define por la siguiente ecuación:

$$ETJ = ETo \times KJ$$

El KJ se deriva específicamente para estimar la pérdida de agua de las plantas del jardín. Este es un coeficiente para calcular, de forma aproximada, las necesidades de agua que permitan mantener la estética, teniendo en cuenta las especies plantadas, la densidad de vegetación y los microclimas existentes (WUCOLS 2000).

El KJ se define por la siguiente ecuación

$$KJ = ks \times kd \times kmc$$

Donde:

ks = factor de especie
kd = factor de densidad
kmc = factor microclima

2.5.1 Factor de especie

El factor de especie (ks) se utiliza para determinar las necesidades de agua según cada especie. El ks tiene un valor constante, es decir, no depende del estado fenológico de la planta; mientras que los valores del Kc sí reflejan esta variación (WUCOLS 2000).

El ks reflejado en WUCOLS proviene del consenso obtenido por diferentes grupos de expertos. En el **Cuadro 2** se listan las categorías y rangos del ks.

Cuadro 2: Rangos del factor especie (ks)

Categoría	Rango ks
Muy bajo consumo de agua	< 0,1
Bajo consumo de agua	0,1 – 0,3
Moderado consumo de agua	0,4 – 0,6
Alto consumo de agua	0,7 – 0,9

Fuente: WUCOLS (2000)

Asignación de factores:

- Para las plantaciones monoespecíficas: Cuando se produce una sola especie en la zona de riego, se utiliza el ks asignado en la lista WUCOLS.
- Para plantaciones pluriespecíficas: Cuando las especies tienen necesidades de agua similares, la selección del ks es sencillo, pues solo tiene que seleccionar la categoría a la cual se asignan todas las especies y elegir el valor apropiado. Sin embargo, cuando las necesidades de agua de las especies no son similares; las especies en la

categoría más alta determinan el ks. Esta asignación es necesaria para que todas las plantas permanezcan sin lesiones por estrés hídrico.

2.5.2 Factor de densidad

El factor de densidad (kd) se utiliza en la fórmula del coeficiente de jardín para explicar las diferencias en la densidad de la vegetación entre las plantaciones del área verde. La densidad de la vegetación se utiliza aquí para referirse a la superficie foliar colectiva de todas las plantas del área verde. Las diferencias en la densidad de la vegetación, o de área foliar, conducen a diferencias en la pérdida de agua (WUCOLS 2000).

En el **Cuadro 3** se presentan las categorías y rangos del kd.

Cuadro 3: Rangos del factor densidad (kd)

Categoría	Rango	Descripción
Bajo	0,5 – 0,9	Plantaciones en crecimiento (inmaduras) o que no llegan a cubrir toda el área.
Medio	1	Determinada por una plantación predominante (tapizantes) y árboles con una cubierta de copas entre 70% y 100%.
Alto	1,1 – 1,3	Cuando se presentan los tres tipos de vegetación (árboles, arbustos y cubresuelos) y se encuentran en cantidades sustanciales.

Fuente: WUCOLS (2000)

La densidad de la vegetación varía considerablemente en los paisajes. Algunas plantaciones tienen, muchas veces, mayor área foliar que otras. Por ejemplo, un paisaje con árboles, arbustos y plantas estrechamente agrupadas en un área pequeña tendrá mayor área foliar que un paisaje con solo arbustos ampliamente espaciados en el mismo tamaño (**Figura 4**). Mayor área foliar, normalmente, significa un aumento de la evapotranspiración (pérdida de agua) para la siembra. Como resultado, se esperaría que una plantación densa pierda mayor cantidad de agua que una plantación escasa.

Figura 4: Paisajes de alta y baja densidad



2.5.3 Factor de microclima

Los microclimas de cada área verde deben tenerse en cuenta en las estimaciones de la pérdida de agua de la planta. Los diferentes microclimas se dan por las características típicas de los paisajes urbanos (como edificios y pavimentos), la influencia de la temperatura, la velocidad del viento, la intensidad de la luz y la humedad. Para tener en cuenta estas diferencias, se utiliza el factor de microclima (kmc) (WUCOLS 2000).

En el **Cuadro 4** se presentan las categorías y rangos del kmc.

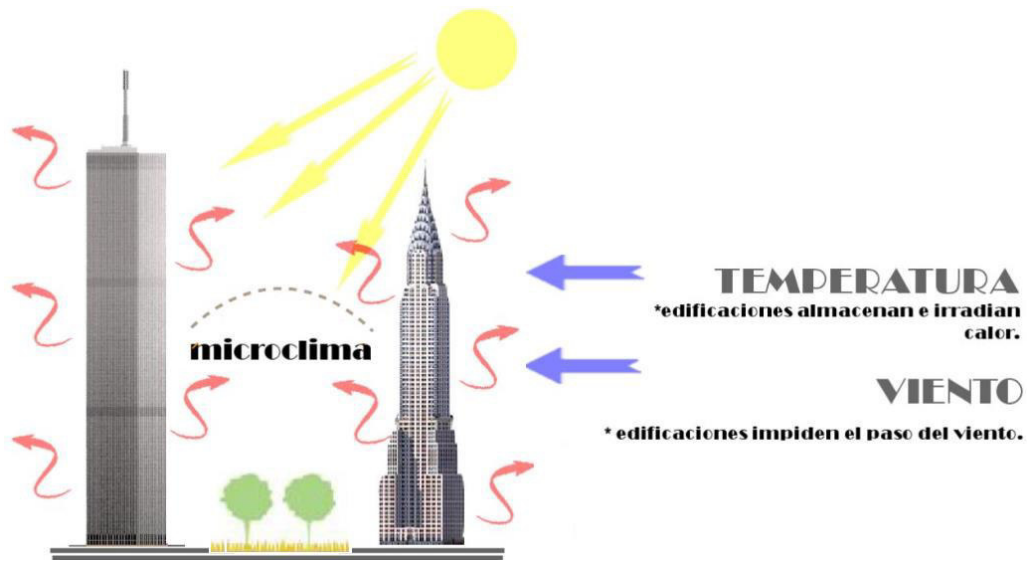
Cuadro 4: Rangos del factor de microclima (kmc)

Categoría	Rango	Descripción
Bajo	0,5 – 0,9	Los sitios que están en sombra o protegidos del viento típico de la zona.
Medio	1	Equivalente a un entorno de campo abierto y sin vientos extraordinarios o atípicos.
Alto	1,1 – 1,4	Plantaciones expuestas a vientos atípicos, ubicadas en medio de autopistas o estacionamientos sin sombra, que reciban luz reflejada desde ventanas cercanas, automóviles u otras superficies reflectantes.

Fuente: WUCOLS (2000)

Según WUCOLS (2000), experimentos realizados en Seattle, Washington, encontraron que una plantación en una zona pavimentada puede tener 50% mayor pérdida de agua que una plantación de la misma especie en una zona ajardinada (**Figura 5**). Otros estudios en California encontraron que las plantas en áreas sombreadas perdieron 50% menos agua que las plantas de la misma especie en una condición de campo abierto.

Figura 5: Microclimas en ciudades



2.6 NECESIDADES NETAS DE RIEGO

El sistema formado por el suelo y las plantas tiene aportes y salidas de agua. Por lo general, esas cantidades no son iguales, por lo que el contenido de humedad del suelo irá cambiando. Las entradas de agua pueden ser por lluvia (LL) o riego (R). Por otra parte, las salidas de agua pueden ser por evapotranspiración (ET), escorrentía (S) o filtración profunda (Fp) (CAP 2004).

Si se considera un sistema de riego bien diseñado en el que no existe escorrentía ($S = 0$) y en el que además la filtración profunda sea nula ($Fp = 0$), la cantidad de agua que necesita la planta y se debe aportar por riego, o necesidades netas de riego (Nn), corresponderá a la diferencia entre la cantidad de agua que el sistema suelo-planta pierde por evapotranspiración y el agua que se aporta de forma natural por lluvia.

$$Nn = ET - LL$$

Sin embargo, el agua que se aporta al suelo con el riego no es aprovechada en su totalidad por la planta, sino que parte de esta se pierde por escorrentía y/o filtración profunda. De esta manera, la cantidad de agua que se debe aportar por riego, o necesidades brutas (Nb), se calcula teniendo en cuenta factores como la eficiencia de aplicación del riego (Ea) (CAP 2004).

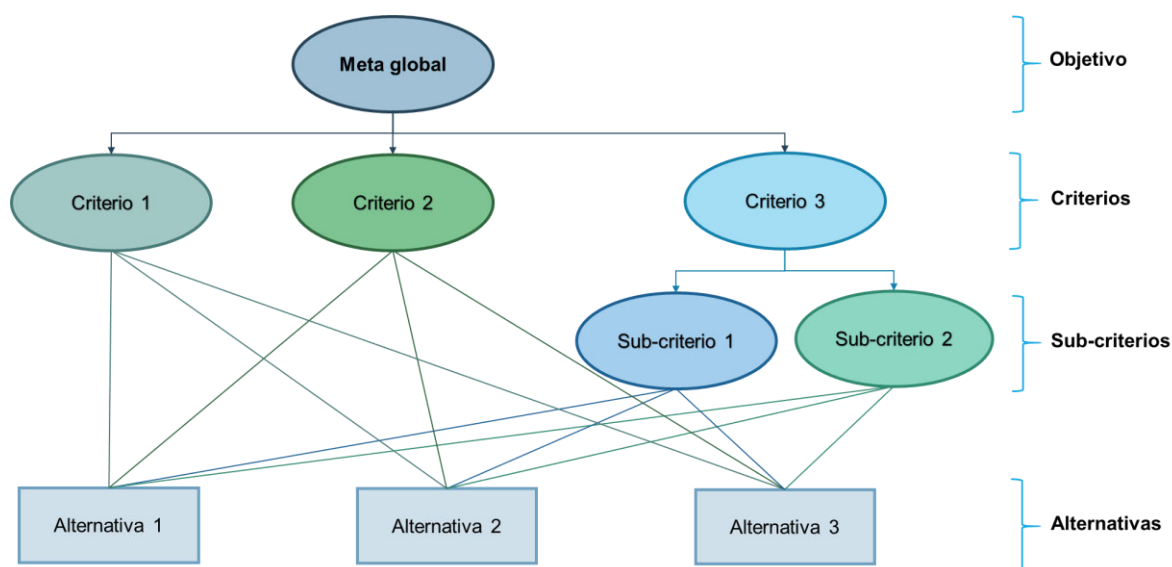
2.7 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO Y TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

El proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) es un procedimiento diseñado para cuantificar juicios u opiniones sobre la importancia relativa de cada uno de los criterios empleados en el proceso de toma de decisión (Saaty 2001).

Las tres funciones básicas de este método son (Orejuela *et al.* 2008):

- Estructuración de la complejidad: Thomas L. Saaty buscó una manera para resolver el problema de la complejidad y utilizó la estructuración jerárquica de los problemas en subproblemas homogéneos. Este método descompone un problema en subproblemas, los cuales están relacionados directamente con el problema inicial, y al lograr la solución de los subproblemas y manteniendo la relación existente entre ellos, se consigue la solución del problema inicial. En la **Figura 6** se presenta un modelo de estructura jerárquica de un problema.
- Medición en escalas: El AHP permite realizar mediciones de factores, tanto subjetivas como objetivas, a partir de estimaciones numéricas, verbales o gráficas. La gran flexibilidad de este método permite una gran variedad de aplicaciones en diferentes campos. El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar para quien toma la decisión. Además, la escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones. En el **Cuadro 5** se presenta la escala propuesta por Thomas L. Saaty.
- Síntesis: El enfoque del AHP es totalmente sistémico porque, aunque analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica, en ningún momento pierde de vista el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas. Es por esta razón que, este método está enfocado en el sistema en general y la solución que presenta es para la totalidad, no para la particularidad.

Figura 6: Modelo de estructura jerárquica del problema



Las ocho etapas del AHP son:

- a. Descomponer el problema en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando: la meta general, los criterios ($i=1, 2, m$) y las alternativas posibles ($j=1, 2, n$). Para cada uno de los “ m ” criterios, realizar las etapas (b) a (e).
- b. Desarrollar la matriz de comparación por pares (MCP) de alternativas para cada uno de los criterios, estableciendo la clasificación de importancia relativa con base en el **Cuadro 5**, según Saaty (2001).

Cuadro 5: Clasificación de importancia relativa

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre el otro.
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.

Una clasificación recíproca (como 1/9, 1/7, 1/5) se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera.

- c. Desarrollar la matriz normalizada (MCN), dividiendo cada número de una columna de la MCP por la suma total de la columna.
- d. Calcular el vector de prioridad (VP) para el criterio, calculando el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio por fila representa el vector de prioridad de la alternativa con respecto al criterio considerado.
- e. La consistencia de las opiniones utilizadas en la MCP puede ser determinada a través del cociente de consistencia (CR). Un $CR < 0,10$ es considerado aceptable. Para aquellos casos en que $CR > 0,10$, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.
- f. Luego de que la secuencia (b)-(c)-(d)-(e) ha sido ejecutada para todos los criterios, los resultados obtenidos en (d) deber ser resumidos en una matriz prioridad (MP), listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
- g. Desarrollar una matriz de comparación de criterios por pares de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en (b)-(c)-(d).
- h. Calcular un vector de prioridad global, multiplicando el vector de prioridad de los criterios (g) por la matriz de prioridad de las alternativas (f).

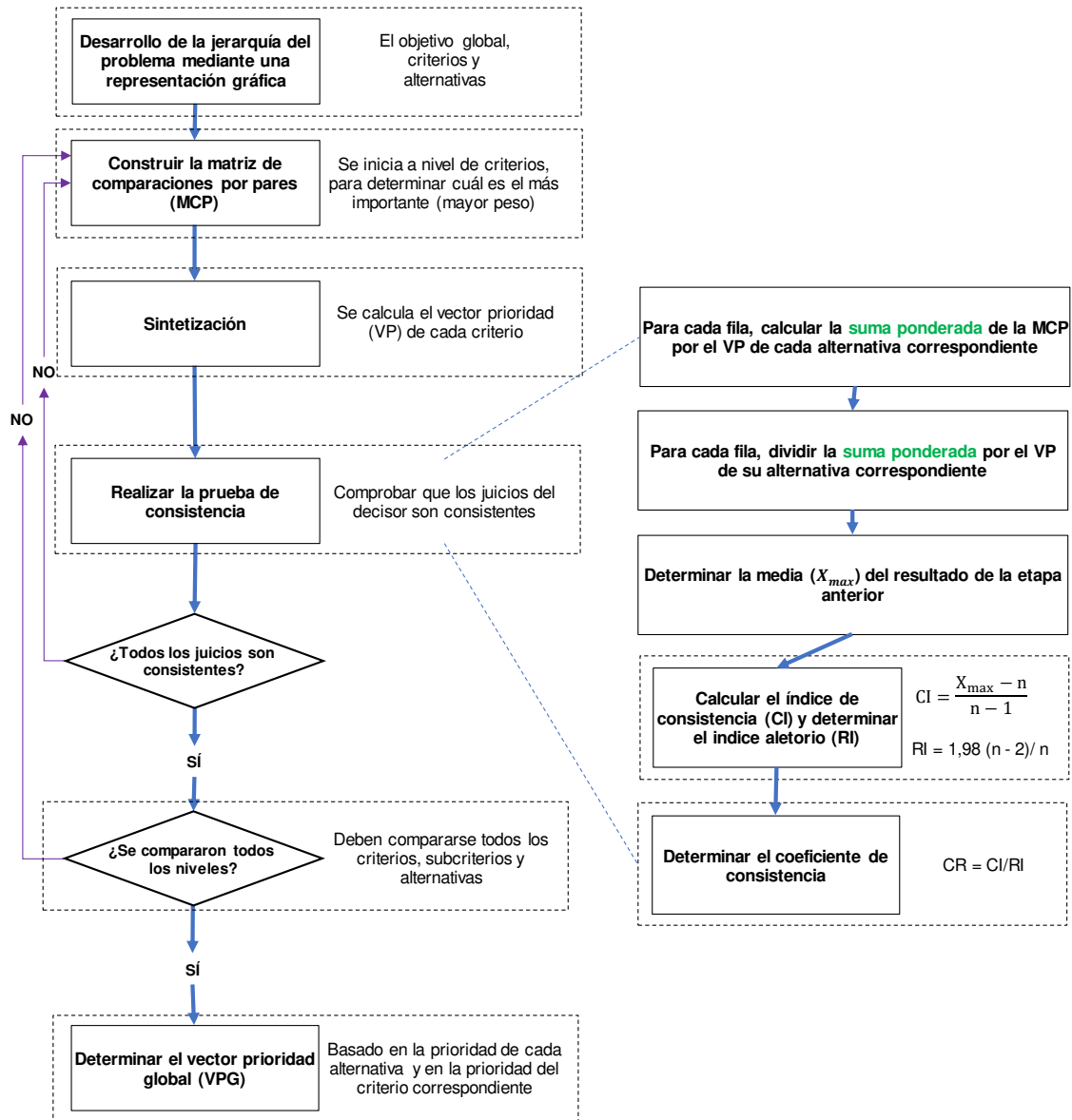
2.7.1 Determinación del cociente de consistencia

- a. Para cada línea de la MCP, calcular una suma ponderada con base en la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente.
- b. Para cada línea, dividir la suma ponderada por la prioridad de su alternativa correspondiente.
- c. Determinar la media (X_{\max}) del resultado de la etapa (b).
- d. Calcular el índice de consistencia (CI) para cada alternativa, como $CI = \frac{X_{\max} - n}{n - 1}$

- e. Determinar el índice aleatorio (RI) con base en la ecuación de Hamdy A. Taha, como $RI = 1,98 \frac{(n-2)}{n}$
- f. Determinar el CR, como: $CR = CI/RI$

En la **Figura 7** se muestra el diagrama de flujo de la metodología AHP.

Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología AHP



2.8 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Una instalación de riego por aspersión está constituida básicamente por los siguientes componentes:

2.8.1 Fuentes de abastecimiento de agua

Punto de alimentación de agua, que puede ser un río, un canal, un pozo u otro punto cuya dotación de agua se almacena en algún tipo de reservorio. Su función principal es la de abastecer de agua permanentemente al sistema de riego y sus dimensiones dependen de la superficie a regar (Castañón 2000).

2.8.2 Cabezal de riego

Es el conjunto de elementos que permite el tratamiento del agua de riego (filtrado y medición), el control de la presión y la aplicación de fertilizantes (ADRA PERU 2009).

2.8.3 Red de distribución

Es la red de tuberías que parte del cabezal de riego. Estas tuberías suelen nombrarse según su categoría: la primaria es la que parte de la toma de riego o del cabezal; la secundaria es la que reparte agua hasta los sectores de riego; y, la terciaria es la tubería que alimenta directamente a los laterales o ramales de aspersión y donde se conectan los emisores de riego (Pizarro 1996).

2.8.4 Emisores

Los emisores pueden ser de dos tipos: difusores o rotores. Se detalla a continuación.

- **Difusores:** Tienen un radio entre 0,9 m y 5,5 m y son usados para espacios pequeños. Tienen una alta velocidad de aplicación (40 mm/h aproximadamente) y funcionan entre un rango de presión de 1,0 bar a 2,1 bar. Permite mayor control del área a regar pues se puede regular el ángulo del chorro de agua (Rain Bird 2015).
- **Rotores:** Tienen un mayor alcance que los difusores (entre 5 m y 18 m de radio). Tienen una velocidad de aplicación baja (10 mm/h aproximadamente) y funcionan entre un rango de presión de 1,5 bar a 4,5 bar. Permite mayor control del área a regar pues se puede regular el ángulo del chorro de agua (Rain Bird 2015).

2.9 PROGRAMACIÓN DE RIEGO

A continuación, se describen las principales variables para la programación de riego por aspersión en áreas verdes.

2.9.1 Eficiencia de aplicación del sistema de riego

Debido a que los sistemas de riego no son totalmente eficientes, para el cálculo de las necesidades brutas de riego es necesario considerar la eficiencia de aplicación del sistema (E_a) o el porcentaje de agua que las raíces de las plantas aprovechan con respecto al total aplicado. Su valor dependerá del método de riego empleado: superficie, localizado o por aspersión (CAP 2004).

En general, se puede considerar que la eficiencia de aplicación utilizando el riego localizado es de 85 a 90%; en riego por aspersión es entre 70 y 80%; y, en superficie hasta, aproximadamente, 60%. En cualquier caso, los valores de eficiencia dependerán en gran medida del manejo que se realice del riego.

2.9.2 Lámina bruta de riego

La dosis bruta o lamina bruta (L_b) es la lámina de agua que debe aplicarse para satisfacer los requerimientos del cultivo, considerando la eficiencia del sistema y el lavado. Normalmente, se considera 75% por aspersión. Se define por:

$$L_b = \frac{L_n}{E_{fr}}$$

Donde:

L_b = lámina bruta (mm)

L_n = lámina neta (mm)

E_{fr} = eficiencia de riego

2.9.3 Tiempo de riego

El tiempo de riego utilizado para el diseño hidráulico de una instalación se calcula para el periodo en que las necesidades de agua son máximas y depende del sistema de riego (Razuri 1988).

En el caso del riego por aspersión, son las horas en la que los aspersores deben arrojar la precipitación de diseño (P), para aplicar la dosis de riego. Se define por:

$$Tr = \frac{Dba}{P}$$

Donde:

Dba = dosis bruta ajustada (mm)

P = precipitación de diseño del aspersor (mm/h)

Tr = tiempo de riego

2.9.4 Caudal a nivel de válvula

El caudal es el volumen de agua que pasa por una tubería o sale de un emisor en un tiempo determinado. El caudal en la toma de agua del sistema de riego, la superficie de jardín y las necesidades hídricas de las especies cultivadas, indican el número de emisores necesarios y la zonificación de riego que mejor se adapta al jardín.

En jardinería, el caudal que circula por tuberías y emitidos por aspersores no suele ser muy elevado, por lo que se utiliza litros/segundo (L/s), litros/minuto (L/min) o metros cúbicos/hora (m³/h).

2.10 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un sistema de información geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográfica referenciada (ESRI 2009).

2.10.1 Función del SIG como sistema de consulta

Los SIG permiten formar y mantener bases de datos geográficos, extraerlos y presentarlos selectivamente, explorar las relaciones entre conjuntos de datos espaciales y predecir eventos en función a modelos, contribuyendo a la toma de mejores y más oportunas decisiones (Vargas 1988).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la UNALM ($12^{\circ}04'55''\text{S}$, $76^{\circ}56'53''\text{O}$), Lima, Perú. Específicamente trata de 15,03 ha de áreas verdes con sistema de aspersión. En la **Figura 8** se muestra el área de estudio en contorno rojo.

Figura 8: Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Google Earth (2017)

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

En la presente investigación, los materiales y equipos usados son:

- Planos planimétricos de la UNALM y del sistema de riego por aspersión de las áreas verdes (formato digital);
- Registros de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación y horas de sol de la estación meteorológica Von Humboldt, ubicada dentro de la UNALM, para el periodo 2001 a 2015;
- Datos de cantidad y calidad de agua, y tipo de suelo de la UNALM;
- Información sobre el sistema de riego por aspersión de la UNALM (fuente de agua, red de tuberías, emisores, válvulas, bomba, filtro, válvula volumétrica);
- Listado de coeficiente de especies de plantas (WUCOLS 2000);
- Cámara fotográfica;
- GPS;
- Libreta de campo;
- Tesis, libros y manuales;
- Útiles de escritorio; y,
- Computadora portátil.

El software utilizado para la realización de esta investigación fue:

- Microsoft Office, para la elaboración de cuadros, gráficos, texto;
- CROPWAT 8.0, para el cálculo de requerimiento de agua;
- TotalDecision, para el cálculo de los vectores prioridad global usando AHP; y,
- AutoCAD y ArcGIS 10.2.2 para el procesamiento de la información geográfica.

3.3 INFORMACIÓN GENERAL

3.3.1 Fuente de agua

Se reconocieron las fuentes de agua que abastecen a la UNALM para satisfacer los requerimientos de agua de los jardines.

3.3.2 Calidad de agua y tipo de suelo

La caracterización general de la calidad de agua y del tipo de suelo, se basó en la información obtenida en el estudio “Planeamiento, diseño y evaluación técnico económico del sistema de riego del programa de frutales-fundo en la Universidad Nacional Agraria La Molina” (Meza Capcha, K. 2014).

3.3.3 Variables meteorológicas

Con base en los registros de la estación meteorológica Von Humboldt (ubicada en 12°05' S, 75°57' W; altitud 243,7 msnm), ubicada en la UNALM.

Las variables meteorológicas utilizadas son:

- Temperatura máxima (°C);
- Temperatura mínima (°C);
- Humedad relativa (%);
- Velocidad del viento (m/s);
- Precipitación (mm/mes); y,
- Horas de sol mensual (h/día)

Se cuenta con información mensual para el periodo 2001 a 2009, la cual se complementó con información mensual para el periodo 2010 a 2015 con base en “Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque “Los bomberos” en el distrito de Cieneguilla-Lima” (Sandy, T. 2016). Esta información fue procesada para determinar la evapotranspiración de referencia utilizando el programa CROPWAT 8.0.

3.3.4 Oferta de agua

Se obtuvo la oferta de agua mensual y semanal para las áreas verdes de la UNALM, con base en la dotación mensual total de agua menos el consumo de las otras áreas de la UNALM.

3.4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESPECIES DE PLANTAS

Con el fin de asignar un coeficiente de jardín (KJ) para las áreas verdes de la UNALM, se estimó el coeficiente de especie de planta. Para lograrlo, se usó como base el listado realizado por WUCOLS en California, el cual evalúa seis regiones que representan diferentes condiciones climáticas.

Para determinar cuál de las regiones consideradas por WUCOLS se asemeja más a la ETo promedio calculada de la estación Von Humboldt, se realizó una comparación de la evapotranspiración de referencia de las seis regiones evaluadas en el estado de California (CIMIS 1999) con la evapotranspiración de referencia de la estación Von Humboldt.

Para las especies de plantas que son nativas del Perú o no están incluidas en la lista de WUCOLS se estimó su coeficiente de especie con ayuda de especialistas en el tema.

3.5 IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS

Se recorrieron las 15,03 ha de áreas verdes que cuentan con sistema de riego por aspersión. Para identificar las especies de plantas (árboles y palmeras) se observó sus hojas, tallo, flor y/o fruto, además se fotografiaron y se registró su ubicación con GPS. Cabe mencionar que algunas especies contaban con un cartel que contenía el nombre científico, nombre común y la familia a la cual pertenece.

En gabinete, se realizó un listado de los nombres científicos de las especies existentes y se ubicó cada una en un plano digital: puntos, si se trataron de especies de árboles o palmeras; y, polígonos, en el caso de césped.

Para el presente trabajo no se consideró la identificación de arbustos, pues se encuentran en pocas áreas y en menor densidad en comparación con los árboles que se encuentran dentro del área de estudio.

3.6 DEMANDA ACTUAL DE LOS JARDINES

3.6.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se determinó la evapotranspiración de referencia (ET_o) mensual con el método Penman-Monteith, haciendo uso de CROPWAT 8.0 y considerando los registros meteorológicos indicados.

3.6.2 Determinación del coeficiente del jardín (KJ)

Para cada válvula de riego, se calculó el KJ, el cual se define por la siguiente ecuación (Sección 2.5):

$$KJ = k_s \times k_d \times k_{mc}$$

Donde:

k_s = factor de especie
 k_d = factor de densidad
 k_{mc} = factor de microclima

- Determinación del factor de especie (k_s): A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó la categoría a la cual pertenece cada especie de árbol o palmera con base en el **Cuadro 2** (Sección 2.5.1). Si todas las especies de árboles o palmeras pertenecen a la misma categoría, los k_s se promedian. Si no pertenecen a la misma categoría, se selecciona el mayor k_s . De igual manera se selecciona la categoría a la que pertenece la especie de cubresuelo o césped. Finalmente, se realiza la comparación entre el k_s del árbol o palmera y el de cubresuelo o césped; asignando el mayor k_s para cada válvula de riego.
- Determinación del factor de densidad (k_d): A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó el k_d según la categoría que corresponda, con base en el **Cuadro 3** (Sección 2.5.2) y la información obtenida del reconocimiento de las áreas.
- Determinación del factor de microclima (k_{mc}): A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó el k_{mc} según la categoría que corresponda, con base en el **Cuadro 4** (Sección 2.5.3) y la información obtenida del reconocimiento de las áreas.

3.6.3 Determinación de la evapotranspiración del jardín (ETJ)

Para cada válvula de riego, se determinó la ETJ con base en la ETo y el KJ, usando la siguiente ecuación:

$$ETJ = ETo \times KJ$$

3.7 BALANCE HÍDRICO ACTUAL DE LOS JARDINES

Se realizó el balance hídrico mediante los resultados de oferta y la demanda del jardín actual.

3.8 MÉTODO DE PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS

El AHP se usó para cuantificar qué especies de plantas son las mejores elecciones para las áreas verdes de la UNALM, considerando la importancia relativa de cada uno de los criterios en conflicto; para, de esta forma, poder ser implementadas en los jardines sin que sea afectado el paisaje existente y el uso que recibe.

Para las especies de árboles y cubresuelos se buscó como prioridad que requieran un bajo consumo hídrico y resistan a la falta de agua. Por otra parte, para las especies de césped se buscó como prioridad una buena funcionalidad (resistencia a la sombra y al pisoteo o tránsito), debido a que la población de la UNALM tiende a usar estos espacios para esparcimiento.

En el **Cuadro 6** se define la clasificación de prioridad que recibe cada elemento que forma parte de un grupo (especies de plantas, criterios, sub-criterios o categorías).

Cuadro 6: Clasificación de prioridad

Escala numérica	Descripción
1,0	Elemento de importancia media en el grupo
2,0	Elemento favorecido en el grupo
3,0	Elemento fuertemente favorecido en el grupo.
4,0	Elemento dominante en el grupo.

La selección de especies de plantas se dividió en 3 grupos: especies de árboles, cubresuelos y césped.

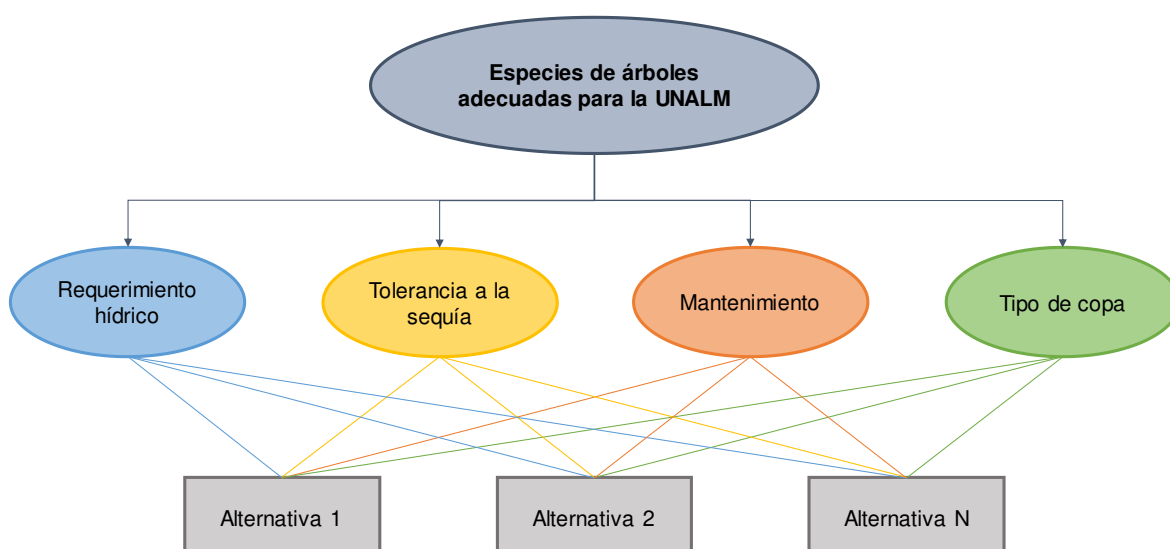
3.8.1 AHP para selección de especies de árboles

a. Se dividió el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando:

- La meta general: selección de especies de árboles adecuadas para la UNALM.
- Los criterios: requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía, mantenimiento y copa del árbol.
- Las alternativas: Se eligieron 16 especies de árboles representativos de zonas áridas.

En la **Figura 9** se muestra el modelo de estructura jerárquica para las especies de árboles.

Figura 9: Modelo de estructura jerárquica para las especies de árboles



b. En el **Cuadro 7** se presenta cada uno de los criterios para la selección de especies de árboles con su respectiva clasificación de prioridad.

Cuadro 7: Clasificación de prioridad de criterios de especies de árboles

Criterios	Prioridad
Requerimiento hídrico	4
Tolerancia a la sequía	3
Mantenimiento	1
Tipo de copa	3

Cada criterio cuenta con una categoría (bajo, medio y/o alto), a las cuales se les asignó una clasificación de prioridad específica.

- Requerimiento hídrico: se busca que la especie seleccionada tenga un bajo consumo de agua y, por tanto, tenga un bajo coeficiente de especie (ver **Cuadro 8**).

Cuadro 8: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de árboles

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	3	$ks \leq 0,3$
Medio	2	$ks = 0,4$
Alto	1	$ks \geq 0,5$

- Tolerancia a la sequía: se busca especies de árboles adaptados a la escasez de agua (xerófilos) y que cuenten con características físicas específicas como, por ejemplo, ser caducifolios y/o tener hojas delgadas, que permiten una menor pérdida de agua por transpiración de hojas (ver **Cuadro 9**).

Cuadro 9: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de árboles

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	3	Especies de árboles caducifolios
Medio	2	Especies de árboles semicaducifolios o perennifolios con hojas alargadas y delgadas o pequeñas
Bajo	1	Especies de árboles semicaducifolios o perennifolios con hojas grandes y follaje denso

- Mantenimiento: se busca que la especie seleccionada no pierda una gran cantidad de hojas y presente baja floración y frutos pequeños, para poder tener periodos de limpieza más espaciados (ver **Cuadro 10**).

Cuadro 10: Criterio: Mantenimiento para especies de árboles

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	3	Especies perennifolias con baja floración
Alto	1	Especies caducifolias o semicaducifolias con alta floración. Presentan pérdida de hojas, flores y/o frutos

- Tipo de copa: Se busca que la especie seleccionada cuente con una copa amplia de tipo irregular, globosa o aparasolada, que proporcionen zonas con sombra para mitigar el calor del verano (ver **Cuadro 11**).

Cuadro 11: Criterio: Tipo de copa para especies de árboles

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	3	Especies perennifolias (copas globosas, irregulares o aparasoladas)
Medio	2	Especies caducifolias o semicaducifolias (copas globosas irregulares o aparasoladas)
Bajo	1	Copas cilíndricas o cónicas

A partir de los criterios mencionados (**Cuadro 8, Cuadro 9, Cuadro 10 y Cuadro 11**) se asignó, por sus características, una clasificación a cada especie de árbol.

- c. Se desarrolló la matriz de comparación por pares (MCP) para cada uno de los criterios antes mencionados. En el **Cuadro 12** se establece la clasificación de importancia entre ambas alternativas, considerada para cada MCP.

Cuadro 12: Clasificación de importancia entre alternativas

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1,0	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma
2,0	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre el otro
3,0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente favorecido sobre el otro
4,0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es dominante sobre el otro

Una clasificación recíproca (como 1/4, 1/3 y 1/2) se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. Se asigna 1 en la comparación de la alternativa consigo misma.

- d. Para cada grupo, se calculó la matriz normalizada (MCN), como la división del valor de cada columna de la MCP por la suma total de la columna.
- e. Para cada grupo, se calculó el vector prioridad (VP) para el criterio, como el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio, por fila, representa el VP de la alternativa con respecto al criterio considerado.
- f. Se determinó la consistencia de las opiniones utilizadas en la MCP a través del cociente de consistencia (CR). Un CR inferior a 0,10 es considerado aceptable; sin embargo, si el CR sea mayor a 0,10, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.

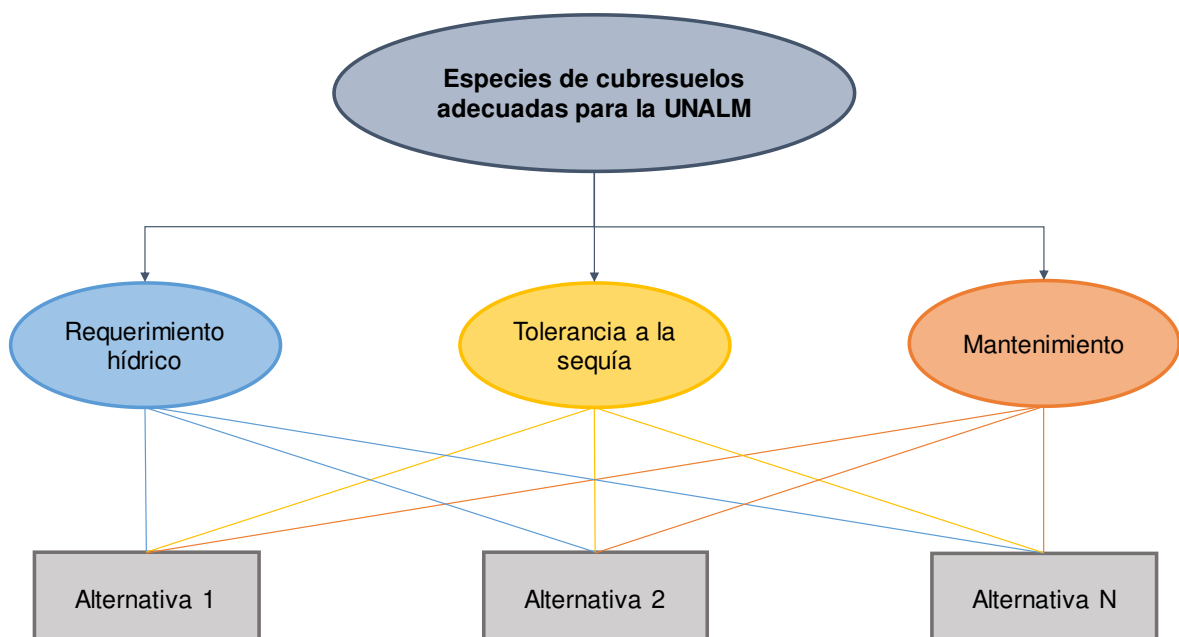
- g. Luego de realizar la secuencia (c)-(d)-(e)-(f) para todos los criterios, los resultados obtenidos en (e) son resumidos en una matriz de prioridad (MP), listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
- h. Se calculó una matriz de comparación de criterios por pares, de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en (c)-(d)-(e).
- i. Se desarrolló un vector de prioridad global (VPG), como la multiplicación del VP de los criterios (h) por la matriz de prioridad de las alternativas (g).

3.8.2 AHP para selección de especies de cubresuelos

- a. Se dividió el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados identificando:
 - La meta general: selección especies de cubresuelos adecuadas para la UNALM.
 - Los criterios: requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía y mantenimiento.
 - Las alternativas: Se eligió cinco especies de cubresuelos a ser implementados en los jardines de la UNALM.

En la **Figura 10** se muestra el modelo de estructura jerárquica para las especies de cubresuelos.

Figura 10: Modelo de estructura jerárquica para las especies de cubresuelos



- b. En el **Cuadro 13** se presenta cada uno de los criterios para la selección de especies de cubresuelos con su respectiva clasificación de prioridad.

Cuadro 13: Clasificación de prioridad de criterios de especies de cubresuelos

Criterios	Prioridad
Requerimiento hídrico	3
Tolerancia a la sequía	2
Mantenimiento	1

Cada criterio cuenta con una categoría (bajo, medio y/o alto), a las cuales se les asignó una clasificación de prioridad específica.

- **Requerimiento hídrico:** se busca que la especie seleccionada tenga un bajo consumo de agua y, por tanto, tenga un bajo coeficiente de especie (ver **Cuadro 14**).

Cuadro 14: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de cubresuelos

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	3	$ks \leq 0,3$
Medio	2	$ks = 0,4$
Alto	1	$ks \geq 0,5$

- **Tolerancia a la sequía:** se busca que la especie seleccionada sea eficiente en el uso del agua como, por ejemplo, las plantas con metabolismo fotosintético CAM (ver **Cuadro 15**).

Cuadro 15: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de cubresuelos

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	3	Plantas CAM
Bajo	1	Plantas C3

- **Mantenimiento:** se busca que la especie seleccionada tenga periodos de limpieza espaciados (ver **Cuadro 16**).

Cuadro 16: Criterio: mantenimiento para especies de cubresuelos

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	2	Una poda de limpieza al año para mantener la estética
Alto	1	Dos podas al año, una poda al inicio de la primavera y a finalizar el verano

A partir de los criterios mencionados (**Cuadro 14**, **Cuadro 15** y **Cuadro 16**) se asignó, por sus características, una clasificación a cada especie de cubresuelo.

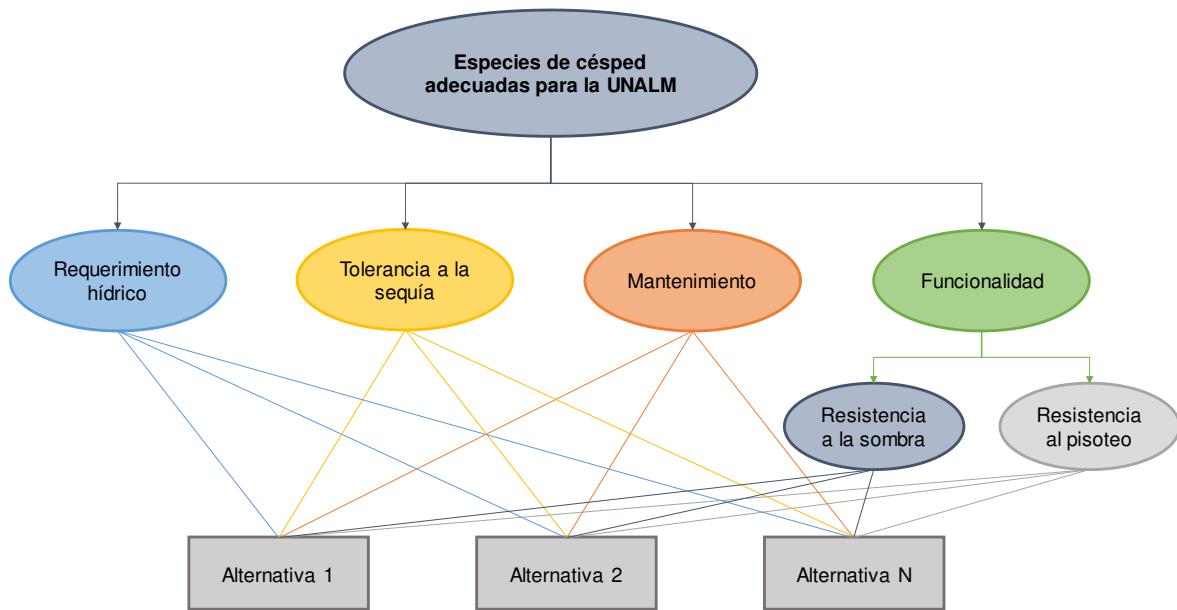
- c. Se desarrolló la MCP para cada uno de los criterios antes mencionados. En el **Cuadro 12** (Sección 3.8.1) se establece la clasificación de importancia entre ambas alternativas, considerada para cada MCP.
- d. Para cada grupo, se calculó la MCN, como la división del valor de cada columna de la MCP por la suma total de la columna.
- e. Para cada grupo, se calculó el VP para el criterio, como el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio, por fila, representa el VP de la alternativa con respecto al criterio considerado.
- f. Se determinó la consistencia de las opiniones utilizadas en la MCP a través del CR. Un CR inferior a 0,10 es considerado aceptable; sin embargo, si el CR sea mayor a 0,10, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.
- g. Luego de realizar la secuencia **(c)-(d)-(e)-(f)** para todos los criterios, los resultados obtenidos en **(e)** son resumidos en una MP, listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
- h. Se calculó una matriz de comparación de criterios por pares, de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en **(c)-(d)-(e)**.
- i. Se desarrolló un VPG, como la multiplicación del VP de los criterios **(h)** por la MP de las alternativas **(g)**.

3.8.3 AHP para la selección de especies de césped

- a. Se dividió el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados identificando:
 - La meta general: selección de las especies de césped adecuadas para la UNALM.
 - Los criterios: requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía, funcionalidad (resistencia a la sombra y al pisoteo o tránsito) y mantenimiento.
 - Las alternativas: Se eligió tres especies de césped.

En la **Figura 11** se muestra el modelo de estructura jerárquica para las especies de césped.

Figura 11: Modelo de estructura jerárquica para las especies de césped



b. En el **Cuadro 17** se presenta cada uno de los criterios para la selección de especies de césped con su respectiva clasificación de prioridad.

Cuadro 17: Clasificación de prioridad de criterios de césped

Criterios		Prioridad	
Requerimiento hídrico		2	
Tolerancia a la sequía		2	
Funcionalidad	Resistencia a la sombra	4	3
	Resistencia al pisoteo		1
Mantenimiento		1	

Cada criterio cuenta con una categoría (bajo, medio y/o alto), a las cuales se les asignó una clasificación de prioridad específica.

- **Requerimiento hídrico:** se busca que la especie seleccionada tenga un bajo consumo de agua y, por tanto, tenga un bajo coeficiente de especie. Se categorizó este criterio con base en Semillas Fito (2010) y Wherley, B., Dukes, M. D., Cathey, S., Miller, G., & Sinclair, T. (2015) (ver **Cuadro 18**).

Cuadro 18: Criterio: Requerimiento hídrico para especies de césped

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	2	ks = 0,7
Alta	1	ks = 0,8

- **Tolerancia a la sequía:** se busca que la especie seleccionada resista a la falta de agua. Se categorizó este criterio con base en Monje (2006) (ver **Cuadro 19**).

Cuadro 19: Criterio: Tolerancia a la sequía para especies de césped

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	3	Resistencia superior.
Medio	2	Resistencia excelente.
Bajo	1	Resistencia buena.

- Funcionalidad: para este criterio se tienen que considerar dos sub-criterios:
 - Resistencia a la sombra: se busca que el césped prospere bien en zonas con sombra (ver **Cuadro 20**).

Cuadro 20: Sub-criterio: Resistencia a la sombra para especies de césped

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	3	Prospera en semisombra
Bajo	1	No prospera bajo sombra

- Resistencia al pisoteo: se busca que el césped tolere el pisoteo (ver **Cuadro 21**).

Cuadro 21: Sub-criterio: Resistencia al pisoteo para especies de césped

Categoría	Clasificación	Descripción
Alto	2	Tolera el pisoteo
Medio	1	Tolera pisoteo poco frecuente

- Mantenimiento: se busca periodos de poda espaciados. Se categorizó este criterio con base en Monje (2006) (ver **Cuadro 22**).

Cuadro 22: Criterio: mantenimiento para especies de césped

Categoría	Clasificación	Descripción
Bajo	2	Poda con frecuencia entre 10 y 15 días en verano
Medio	1	Poda con frecuencia entre 7 y 10 días en verano

A partir de las escalas anteriores (Cuadro 18, Cuadro 19, Cuadro 20, Cuadro 21 y Cuadro 22) se asignó, por su característica, una clasificación a cada especie de césped.

- c. Se desarrolló la MCP para cada uno de los criterios antes mencionados. En el **Cuadro 12** (Sección 3.8.1) se establece la clasificación de importancia entre ambas alternativas, considerada para cada MCP.
- d. Para cada grupo, se calculó la MCN, como la división del valor de cada columna de la MCP por la suma total de la columna.

- e. Para cada grupo, se calculó el VP para el criterio, como el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio, por fila, representa el VP de la alternativa con respecto al criterio considerado.
- f. Se determinó la consistencia de las opiniones utilizadas en la MCP a través del CR. Un CR inferior a 0,10 es considerado aceptable; sin embargo, si el CR sea mayor a 0,10, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.
- g. Luego de realizar la secuencia (c)-(d)-(e)-(f) para todos los criterios, los resultados obtenidos en (e) son resumidos en una MP, listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
- h. Se calculó una matriz de comparación de criterios por pares, de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en (c)-(d)-(e).
- i. Se desarrolló un VPG, como la multiplicación del VP de los criterios (h) por la MP de las alternativas (g).

3.9 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS VERDES SEGÚN SU USO

Para cada válvula de riego, se determinó el uso de cada área verde: paisajístico o utilitario. Se implementaron o agregaron las especies de plantas seleccionadas del análisis multicriterio para mantener el paisaje, creando hidrozonas homogéneas.

3.10 DEMANDA DE LOS JARDINES CON LAS NUEVAS ESPECIES SELECCIONADAS

3.10.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) de las nuevas especies seleccionadas

Se determinó la evapotranspiración de referencia (ET_o) mensual con el método Penman-Monteith, haciendo uso de CROPWAT 8.0 y considerando los registros meteorológicos de 2001 a 2015.

3.10.2 Determinación del coeficiente del jardín (KJ) de las nuevas especies seleccionadas

Para cada válvula de riego, se calculó el KJ. Este se define por la siguiente ecuación:

$$KJ = k_s \times k_d \times k_{mc}$$

Donde:

k_s = factor de especie

k_d = factor de densidad

k_{mc} = factor de microclima

- Determinación del k_s : A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó la categoría a la cual pertenece cada especie de árbol o palmera con base en el **Cuadro 2** (Sección 2.5.1). Si todas las especies de árboles o palmeras pertenecen a la misma categoría, los k_s se promedian. Si no pertenecen a la misma categoría, se selecciona el mayor k_s . De igual manera se selecciona la categoría a la que pertenece la especie de cubresuelo o césped. Finalmente, se realiza la comparación entre el k_s del árbol o palmera y el de cubresuelo o césped; asignando el mayor k_s para cada válvula de riego.
- Determinación del k_d : A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó el k_d , según la categoría que corresponda, con base en el **Cuadro 3** (Sección 2.5.2).
- Determinación del k_{mc} : A nivel de cada válvula de riego, se seleccionó el k_{mc} según la categoría que corresponda con base en el **Cuadro 4** (Sección 2.5.3).

3.10.3 Determinación de la evapotranspiración del jardín de las nuevas especies seleccionadas (ETJ)

Para cada válvula de riego, se determinó la ETJ con base en la ET_o y el KJ, usando la siguiente ecuación:

$$ETJ = ET_o \times KJ$$

3.11 BALANCE HÍDRICO DE LOS JARDINES CON LAS NUEVAS ESPECIES SELECCIONADAS

Se realizó el balance hídrico mediante los resultados de oferta y la demanda de los jardines con las nuevas especies seleccionadas.

3.12 PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Para realizar la programación de riego, se usaron registros meteorológicos y las velocidades de aplicación correspondiente, según la presión disponible en cada sector de riego.

Lámina de riego (Lr)

Para el cálculo de la lámina de riego (Lr), se utilizó la ETJ mensual (Sección 3.10), a la cual se le restó la precipitación efectiva (considerada 0,0 mm/mes en el área de estudio) y se dividió entre la eficiencia del sistema de riego (75%). La ecuación que define la Lr es:

$$Lr_{\text{reponer}} = \frac{Lr_{\text{neta}}}{0,75}$$

Tiempo de riego (Tr)

Para el cálculo del tiempo de riego (Tr), se utilizó la velocidad de aplicación (mm/h) y la lámina diaria a reponer. La velocidad de aplicación fue definida con base en la presión de trabajo, y calculada mediante un promedio simple según la cantidad y tipo de emisores manejados por válvula. La ecuación que define el Tr por válvula es:

$$Tr_{\text{válvula } i} = \frac{Lr_{\text{reponer}}}{Va_{\text{válvula } i}}$$

Donde:

$Tr_{\text{válvula } i}$ = Tiempo de riego para válvula i (h)

Lr_{reponer} = Lámina de riego a reponer (mm/día)

$Va_{\text{válvula } i}$ = Velocidad de aplicación promedio para válvula i (mm/h)

De esta manera, el tiempo de riego por turno es:

$$Tr_{\text{turno } i} = \text{Máx}(Tr_{\text{válvula } 1}, Tr_{\text{válvula } 2}, \dots, Tr_{\text{válvula } n})$$

Donde:

$Tr_{\text{turno } i}$ = Tiempo de riego para turno i (h), hallado como el máximo tiempo de riego calculado para las válvulas correspondientes al turno i, a modo de asegurar la dotación de agua en todos los sectores de riego.

Obteniendo el tiempo de riego para cada uno de los turnos, se calcula el tiempo total de riego diario, para la programación diaria, semanal y mensual.

3.13 ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE CONSULTA SIG DE ESPECIES DE PLANTAS

Se desarrolló una base de datos para obtener un sistema de consulta SIG que permitirá conocer qué especies de plantas existen y dónde ubicar nuevas especies de plantas seleccionadas en las áreas verdes de la UNALM para, de esta forma, facilitar la adecuada toma de decisiones. Esta base de datos contará con una descripción básica de cada especie de planta (nombre científico, nombre común, ks, kd, kmc, entre otros) para cada válvula de riego. Se empleará ArcGIS para su elaboración.

Con base en el plano del sistema de riego en AutoCAD y la Geodatabase obtenida de dicho plano, se realizará la digitalización de las especies de plantas identificadas en campo y las especies propuestas. Se obtendrá un archivo *shapefile* en el cual estarán las especies de plantas para cada turno de riego (existentes y propuestas). La metodología se resume en las **Figura 12 y Figura 13**.

Figura 12: Elaboración del sistema de consulta – 1

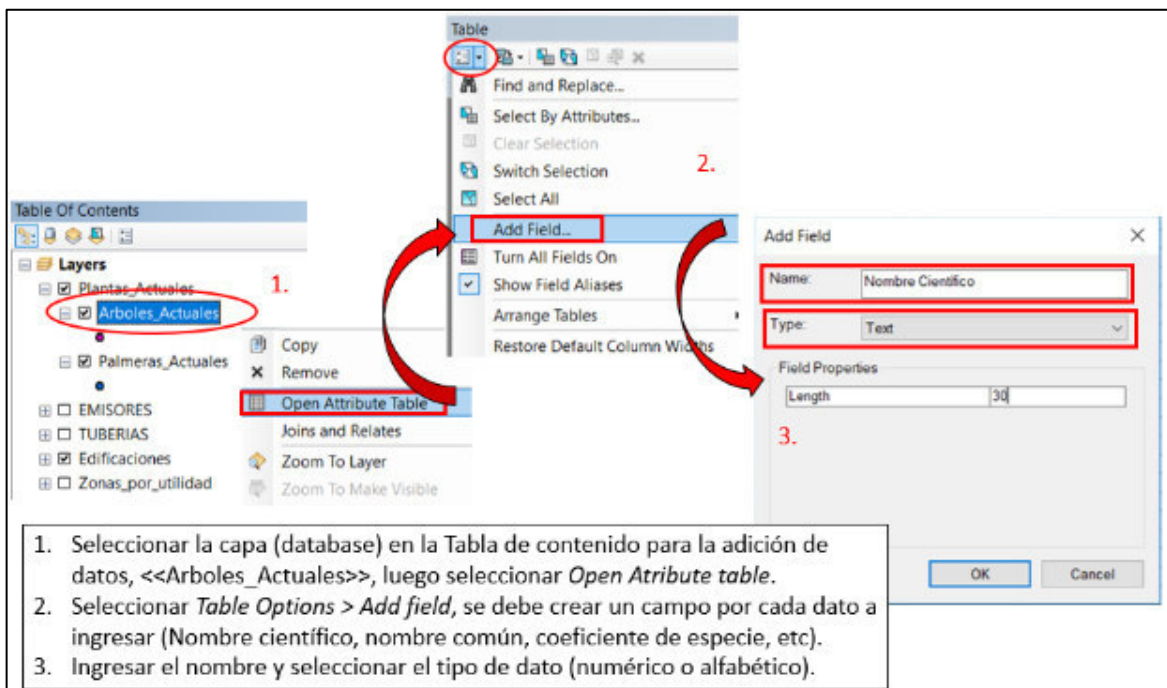


Figura 13: Elaboración del sistema de consulta – 2

4.

FID	Shape	Nombre científico	Nombre Común	ks	kd	km	KJ	Numero de Válvula	POINT_X	POINT_Y
35	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	74	287744.8329	8663911.603
36	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	74	287744.8474	8663920.1089
37	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	74	287744.8561	8663926.1259
38	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	74	287744.6837	8663905.3993
39	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	74	287757.4326	8663872.8048
40	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	76	287831.2869	8663873.0928
41	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	76	287811.9952	8663872.8763
42	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	76	287771.0775	8663873.1653
43	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	76	287775.8377	8663872.9801
44	Point	Schinus molle	Molle serrano	0.2	1	1	0.2	76	287782.6209	8663872.9771

5.

6.

Válvulas de riego	Verde	ks	ks final	km	kd	Area m2
1	0,8	0,6000	0,8000	0,80	1	1568,34
2	0,8	0,7000	0,8000	1	1	827,26
3	0,8	0,5000	0,8000	1,00	1	981,07
6	0,8	0,6000	0,8000	1,00	1	345,77
7	0,8	0,6000	0,8000	0,80	1	711,01
8	0,8	0,6000	0,8000	0,80	1	610,02
9	0,8	0,6000	0,8000	0,80	1	1117,18
10	0,8	0,5000	0,8000	0,80	1	439,36
12	0,8	0,6000	0,8000	0,80	1	1266,42

4. Terminar de adicionar todos los campos, cerrar la tabla de atributos (*Attribute table*).

5. Seleccionar *Editor Features > Star Editing* para generar la base de datos.

6. Seleccionar *Attribute table* e ingresar los datos, por *Especie de árbol*.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 INFORMACIÓN GENERAL

4.1.1 Fuente de agua

El sistema de riego planteado para las áreas verdes de la UNALM cuenta con dos reservorios. Ambos están situados en el área de Proyección Social y son abastecidos de manera intercalada, uno cada semana, por el “canal bajo” (canal principal) que conduce un caudal de 300 L/s. La capacidad de cada reservorio ha sido calculada para satisfacer los requerimientos semanales de agua de los jardines de la UNALM, programa de cereales y maíz (área total de 18,85 ha) y el programa de hortalizas, también llamado “El Huerto” (área de 11,51 ha). La capacidad del reservorio que abastece a Jardines y a El Huerto es de 9 372 m³.

4.1.2 Calidad de agua y tipo de suelo

a) Parámetros fisicoquímicos

El agua empleada en el sistema de riego presenta las siguientes características:

- pH de 7,24, por lo que presenta una característica neutra.
- Conductividad eléctrica de 490 $\mu\text{S/m}$, por lo que la muestra es apta para riego de plantas según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3-D1 para riego de vegetales (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).
- Índice de saturación de Langelier¹ de -0,235, lo que significa que la concentración de carbonatos de calcio se mantiene en la solución y no precipita, por lo que no habría problemas de obstrucción en los sistemas de riego localizado.
- Dureza total de 220,45 mg CaCO₃/L, lo que clasifica como agua dura.
- Turbiedad de 103 NTU y sólidos suspendidos de 110 mg/L.

¹ El Índice de saturación Langelier permite conocer el carácter incrustante o agresivo del agua y está fundamentado en equilibrios del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total en el agua (Morcillo J. 1989).

b) Parámetros microbiológicos

Se realizó un análisis microbiológico de una muestra para determinar los valores de coliformes totales y coliformes fecales presentes en el agua del canal. Estos se encontraron muy por debajo del ECA para Agua (ver **Cuadro 23**).

Cuadro 23: Parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad	ECA Cat. 3-D1 ^a	Resultado de muestra
Coliformes Totales	NMP/100mLL	-	49,0
Coliformes Fecales	NMP/100mL	1 000	6,1
Escherichia coli	NMP/100mL	1 000	4,0

Nota:

- Sin criterio de comparación.

^a ECA para Agua 2017 Categoría 3-D1: Riego de vegetales y bebida de animales, agua para riego no restringido.

c) Suelo

La textura del suelo en la UNALM es franco arenosa (moderadamente gruesa), este contiene mucha arena, pero suficiente limo y arcilla para conferirle cohesión.

4.1.3 Variables meteorológicas

La Molina está ubicada en una zona desértica semicálida (SENAMHI sf), con una temperatura media anual de, aproximadamente, 20 °C. La precipitación es escasa y solo se presentan lloviznas en algunos meses.

Las **Figura 14**, **Figura 15** y **Figura 16** muestran los registros de temperatura, horas de sol y humedad relativa del periodo 2001 a 2015 de la estación meteorológica Von Humboldt. De enero a abril se presentan las temperaturas más altas, lo cual está directamente relacionado con más horas diarias de sol; además de humedad relativa más baja. Estos son los meses de mayor requerimiento de agua por las plantas y donde la población universitaria busca zonas con sombra para mitigar el calor. De junio a setiembre se presentan las temperaturas más bajas, con menos horas diarias de sol y humedad relativa más alta. En estos meses se puede considerar disminuir la frecuencia de riego.

La **Figura 17** muestra que la velocidad del viento es casi constante a lo largo del año, con valores entre 1,2 m/s y 1,7 m/s. La **Figura 18** muestra que la precipitación anual es casi nula, con valores entre 0,2 mm/mes y 1,6 mm/mes. De junio a setiembre se presentan los valores más altos de acumulado mensual de precipitación, sin embargo, se aprecia que estos acumulados son mínimos.

Figura 14: Temperatura mínima y máxima diaria promedio (2001-2015)

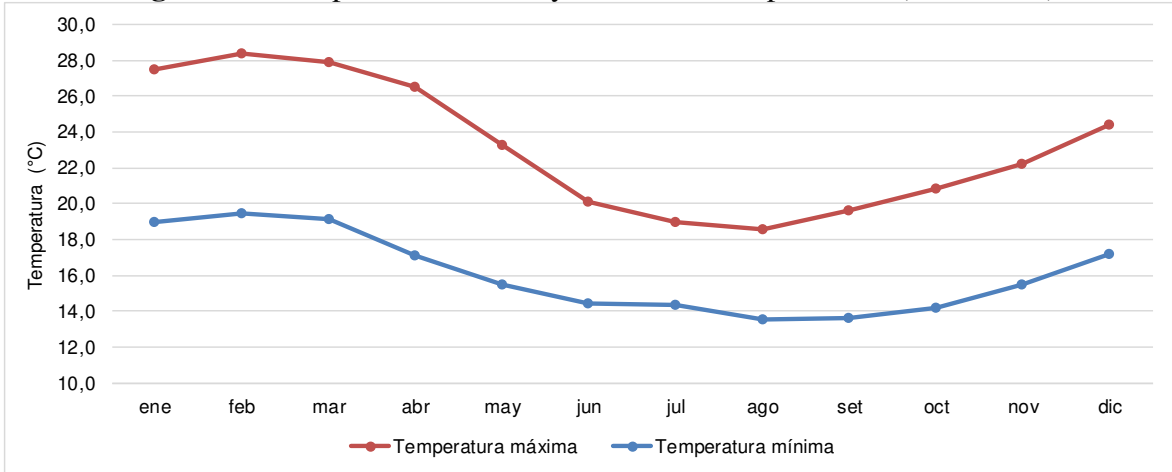


Figura 15: Horas diarias de sol promedio (2001-2015)

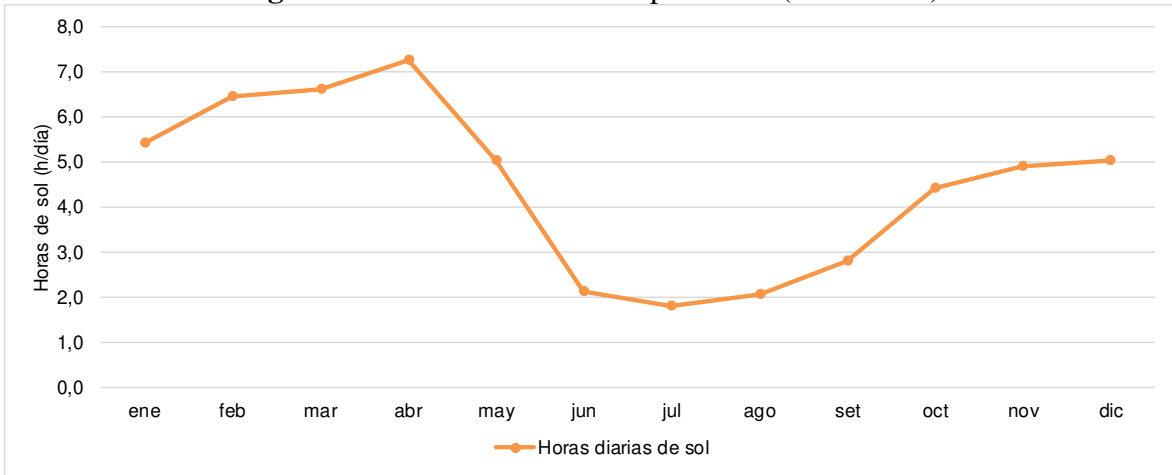


Figura 16: Humedad relativa promedio (2001-2015)

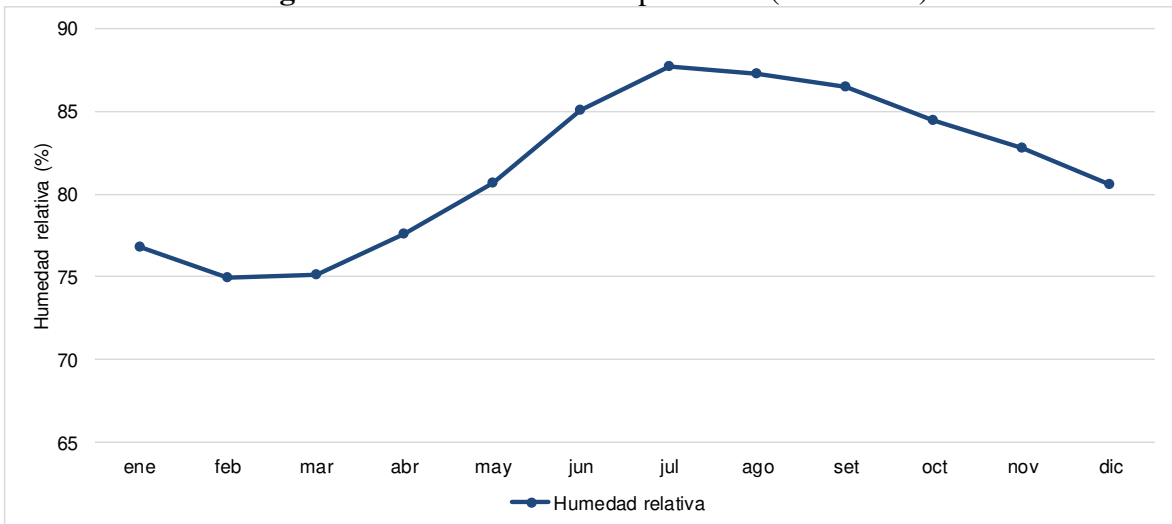


Figura 17: Velocidad del viento promedio (2001-2015)

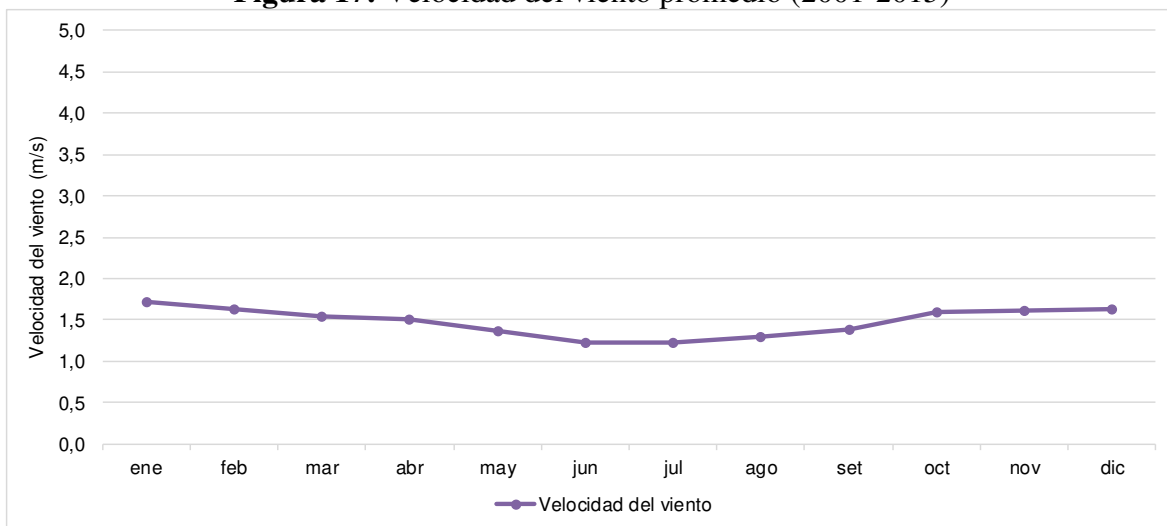
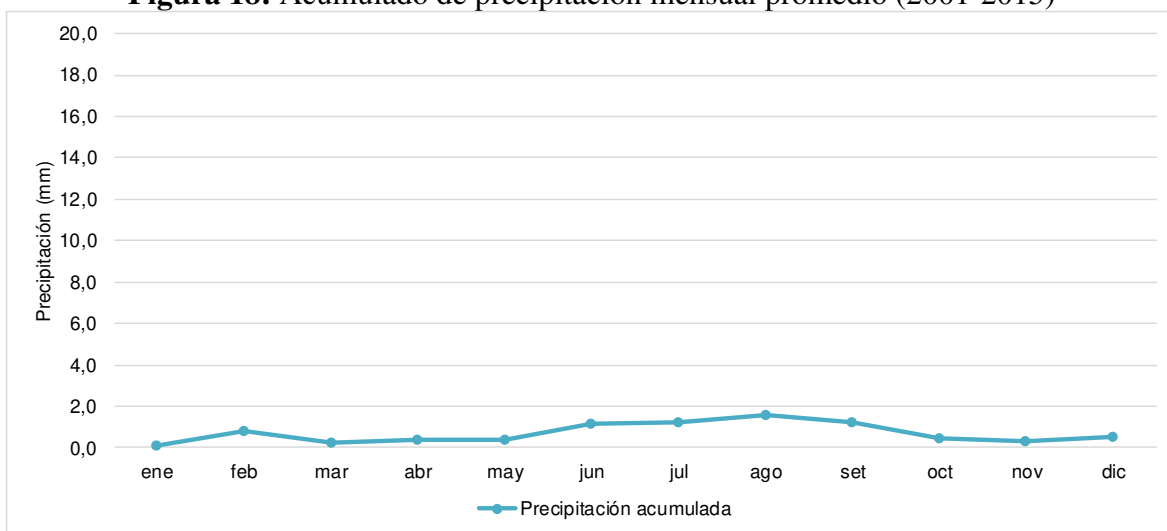


Figura 18: Acumulado de precipitación mensual promedio (2001-2015)



En el **Cuadro 24** se presenta un resumen de las variables meteorológicas usadas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia con CROPWAT 8.0. Estos valores corresponden al promedio mensual de 2001 a 2015.

Cuadro 24: Resumen de variables meteorológicas promedio de la estación Von Humboldt (2001-2015)

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Precipitación mensual (mm/mes)	Horas de sol (h/día)
ene	27,5	19,0	77	1,7	0,1	5,4
feb	28,3	19,4	75	1,6	0,8	6,4
mar	27,9	19,1	75	1,5	0,2	6,6
abr	26,5	17,1	78	1,5	0,4	7,2
may	23,3	15,5	81	1,4	0,4	5,0
jun	20,1	14,4	85	1,2	1,1	2,1
jul	19,0	14,3	88	1,2	1,2	1,8
ago	18,6	13,5	87	1,3	1,6	2,1
set	19,6	13,6	86	1,4	1,3	2,8
oct	20,8	14,2	84	1,6	0,4	4,4
nov	22,2	15,5	83	1,6	0,3	4,9
dic	24,4	17,2	81	1,6	0,5	5,0

En el **Anexo 1** se presentan los registros meteorológicos de la estación meteorológica Von Humboldt para el periodo 2001 – 2015. La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis “Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque “Los bomberos” en el distrito de Cieneguilla-Lima” (Sandy, T. 2016).

4.1.4 Oferta de agua

La oferta de agua para los jardines con sistema de riego por aspersión se obtuvo mediante el conocimiento de la dotación mensual total de agua, a la cual se restó el consumo de las áreas correspondientes al jardín botánico, frutales, fundo, ornamentales y huerto que pertenecen a la facultad de Agronomía quedando solo la oferta disponible para los jardines con sistema de riego por aspersión. En el **Cuadro 25** y **Cuadro 26** se presentan los resultados obtenidos de la oferta mensual y semanal, respectivamente, para los jardines con sistema de riego por aspersión con base en la información de la tesis “Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM” (Llique, R. 2017).

Cuadro 25: Oferta mensual para las áreas de jardines

Mes	Demanda mensual (m ³)					Oferta mensual (m ³)	
	Jardín botánico	Frutales	Fundo	Ornamentales	Huerto	Oferta Total	Jardines con sistema de riego
ene	3 998	29 812	25 363	3 196	12 205	104 161	29 587
feb	3 944	30 460	25 914	3 189	12 470	95 060	19 083
mar	4 213	34 526	29 373	3 582	14 135	109 481	23 652
abr	3 651	28 238	24 024	3 093	11 561	96 850	26 283
may	2 716	26 166	22 261	2 276	10 712	94 705	30 574
jun	1 805	14 719	12 522	1 496	6 026	62 350	25 782
jul	1 743	12 196	10 376	1 443	4 993	64 428	33 677
ago	1 948	13 579	11 553	1 624	5 559	64 428	30 165
set	2 262	20 347	17 310	1 937	8 330	66 350	16 164
oct	2 921	25 687	21 854	2 431	10 516	89 641	26 232
nov	3 105	27 054	23 016	2 619	11 076	91 350	24 480
dic	3 475	25 371	21 585	2 852	10 387	94 395	30 725
Anual	35 781	288 155	245 151	29 738	117 970	1 033 199	352 185

Fuente: Llique, R. (2017)

Cuadro 26: Oferta semanal para las áreas de jardines

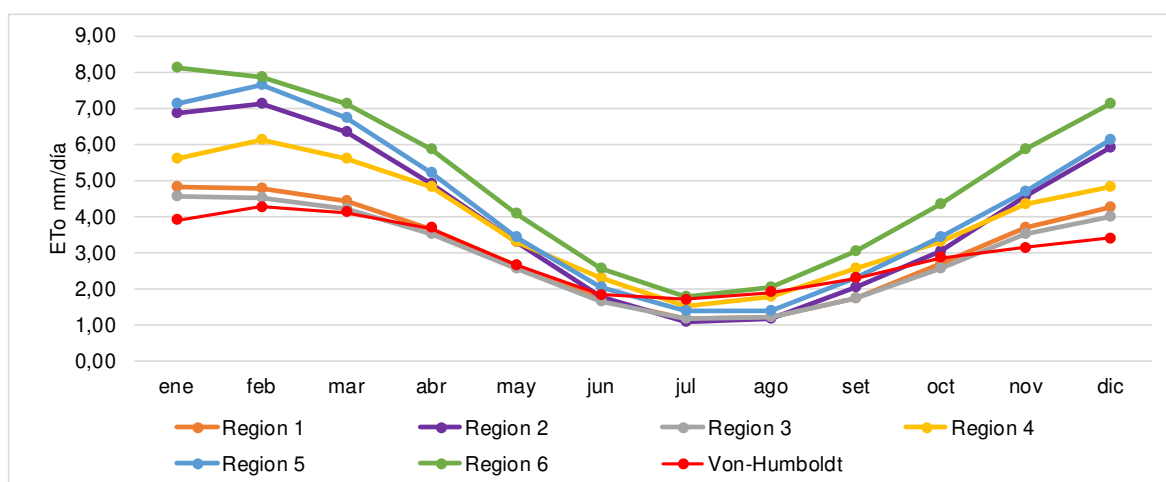
Mes	Demanda semanal (m ³)					Oferta semanal (m ³)	
	Jardín botánico	Frutales	Fundo	Ornamentales	Huerto	Oferta Total	Jardines con sistema de riego
ene	903	6 732	5 727	722	2 756	23 520	6 681
feb	986	7 615	6 479	797	3 118	23 765	4 771
mar	951	7 796	6 633	809	3 192	24 722	5 341
abr	852	6 589	5 606	722	2 698	22 598	6 133
may	613	5 908	5 027	514	2 419	21 385	6 904
jun	421	3 434	2 922	349	1 406	14 548	6 016
jul	393	2 754	2 343	326	1 127	14 548	7 605
ago	440	3 066	2 609	367	1 255	14 548	6 812
set	528	4 748	4 039	452	1 944	15 482	3 772
oct	660	5 800	4 935	549	2 375	20 242	5 923
nov	724	6 313	5 370	611	2 584	21 315	5 712
dic	785	5 729	4 874	644	2 345	21 315	6 938

Fuente: Llique, R. (2017)

4.2 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ESPECIE DE PLANTAS

En la **Figura 19** se muestra la ETo de las seis regiones evaluadas por California Irrigation Management Information System (CIMIS 1999) y la ETo promedio calculada de la estación Von Humboldt con base en información del periodo 2001-2015.

Figura 19: ETo de California y de la estación Von Humboldt



Nota: Los valores mensuales de Eto evaluadas en el estado de California (hemisferio norte) se han organizado para que coincidan con las estaciones del hemisferio sur, en lo referente a la estacionalidad.

Comparando la información de la ETo de CIMIS con la de la estación Von Humboldt, la región 3 (R.3), costa sur (línea de color plomo), y la región 1 (R.1), costa norte y centro (línea de color naranja), son las regiones que más se asemejan a las condiciones de La Molina (línea de color rojo). Por esta razón, se utilizó los coeficientes de especie de plantas para las regiones R.1 y R.3, registradas en la lista de WUCOLS.

Para las especies de plantas nativas del Perú que no están incluidas en la lista de WUCOLS, se estimó su coeficiente de especie con ayuda de especialistas en el tema.

En el **Anexo 2** se muestra el mapa del estado de California dividido en 18 zonas, según su ETo (CIMIS 1999).

4.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DE PLANTAS

4.3.1 Identificación de especies de árboles con su respectivo ks

Se identificaron 47 especies de árboles, teniendo un total de 1 368 árboles en las áreas verdes de la UNALM que contaban con sistema de riego por aspersión durante junio/julio 2017.

En el **Cuadro 27** se listan las especies identificadas, además de la cantidad de cada especie, diámetro de copa y su respectivo ks con base en la lista de especies de plantas identificadas por WUCOLS. Cabe mencionar que para las especies de plantas no registradas en WUCOLS, se estimó el ks basado en el Estudio FAO Riego y Drenaje 56 y/o especialistas en el tema.

Cuadro 27: Especies de árboles con sistema de riego

Nº	Nombre científico	Nombre común	Diámetro promedio de copa (m)	ks	Cantidad
1	<i>Acacia aroma</i>	Acacia blanca	6	0,3	1
2	<i>Acacia longifolia</i>	Mimosa	7	0,3	33
3	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Cedro rosado	8	0,6	9
4	<i>Albizia lebbek</i>	Albizia	8	0,3	4
5	<i>Aleurites moluccanus</i>	Nuez de la india	7	0,6	2
6	<i>Annona cherimola</i>	Chirimoya	6	0,6	11
7	<i>Annona muricata</i>	Guanábana	6	0,6	44
8	<i>Araucaria excelsa</i>	Pino de navidad	8	0,5	6
9	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata de vaca	6	0,6	1
10	<i>Caesalpinia paipai</i>	Charan	5	0,3	2
11	<i>Carya illinoensis</i>	Pecana	6	0,5	8
12	<i>Cassia fistula</i>	Lluvia de oro	5	0,5	1
13	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	4	0,3	16
14	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	8	0,5	15
15	<i>Chorisia speciosa</i>	Ceiba	10	0,3	9
16	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés	5	0,3	20
17	<i>Cupressus sempervirens</i>	Ciprés vela	3	0,3	7
18	<i>Delonix regia</i>	Poinciana real	9	0,5	42
19	<i>Erythrina crista galli</i>	Cresta de gallo	6	0,3	2
20	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	8	0,5	29
21	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	Flor de navidad	4	0,3	22
22	<i>Ficus benjamina</i>	Ficus	8	0,5	91
23	<i>Ficus carica</i>	Higo	6	0,5	13
24	<i>Grevillea robusta</i>	Grevillea	6	0,3	118
25	<i>Inga feuillei</i> ^a	Pacay	8	0,6	5
26	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	9	0,4	72
27	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Papelillo	8	0,4	16
28	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Árbol de júpiter	5	0,4	18
29	<i>Mangifera indica</i> ^a	Mango	8	0,6	9
30	<i>Melia azedarach</i>	Meliá	8	0,3	38
31	<i>Morus alba</i>	Mora	6	0,5	5
32	<i>Olea europaea</i>	Olivo	6	0,3	26
33	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Azote de cristo	8	0,3	5
34	<i>Persea americana</i>	Palto	6	0,6	29
35	<i>Pinus halepensis</i>	Pino carrasco	5	0,3	24
36	<i>Podocarpus spp.</i>	Podocarpus	4	0,4	2
37	<i>Pouteria lucuma</i> ^a	Lúcuma	6	0,6	31
38	<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	7	0,3	2
39	<i>Prunus serrulata</i>	Cerezo japonés	4	0,5	8
40	<i>Schefflera actinophylla</i>	Schefflera	3	0,6	40
41	<i>Schinus molle</i>	Molle serrano	8	0,2	163
42	<i>Schinus Terebinthifolius</i>	Molle hawaiano	8	0,4	37
43	<i>Sideroxylon capiri</i>	Danto amarillo	8	0,5	1
44	<i>Spathodea campanulata</i>	Tulipán africano	8	0,6	51
45	<i>Swietenia macrophylla</i> ^a	Caoba del Perú	10	0,6	3
46	<i>Tecoma stans</i>	Huaranhuay	7	0,3	274
47	<i>Tipuana tipu</i>	Tipa	10	0,3	3

Nota:

Solo se identificaron las áreas verdes que contaban con sistema de riego para junio/julio 2017. No incluye especies del jardín botánico.

^a Los valores de ks fueron estimados por especialistas en el tema y el Estudio FAO Riego y Drenaje 56.

En el **Anexo 3** se presenta el registro fotográfico de las especies de árboles identificadas.

4.3.2 Identificación de especies de palmeras con su respectivo ks

Se identificaron cuatro especies de palmeras, teniendo un total de 56 palmeras en las áreas verdes de la UNALM que contaban con sistema de riego por aspersión durante junio/julio 2017. En el **Cuadro 28** se listan las especies identificadas, además de la cantidad de cada especie, diámetro de copa y su respectivo ks.

Cuadro 28: Especies de palmeras con sistema de riego

N°	Nombre científico	Nombre común	Diámetro promedio de copa (m)	ks	Cantidad
1	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	Hawaiana	2	0,4	24
2	<i>Phoenix canariensis</i>	Palmera fénix	5	0,3	12
3	<i>Roystonea regia</i>	Palmera real	4	0,4	2
4	<i>Washingtonia robusta</i>	Palmera abanico	4	0,3	18

En el **Anexo 3** se presenta el registro fotográfico de las especies de palmeras identificadas.

4.3.3 Identificación de especies de césped con su respectivo ks

Se identificaron cuatro especies de césped en las áreas verdes de la UNALM que contaban con sistema de riego por aspersión durante junio/julio 2017. En el **Cuadro 29** se listan las especies identificadas, además de su respectivo ks.

Cuadro 29: Especies de césped con sistema de riego

N°	Nombre científico	Nombre común	ks
1	<i>Cynodon dactylon</i> ^a	Gass bermuda	0,70
2	<i>Stenotaphrum secundatum</i> ^b	Grass americano	0,80
3	<i>Paspalum notatum</i> ^b	Grass paspalum	0,80
4	<i>Zoysia japonica</i> ^c	Grass japones	0,70

Nota:

^a Valor de ks con base en Semillas Fito (2010)

^b Valor de ks con base en Wherley, B., Dukes, M. D., Cathey, S., Miller, G., & Sinclair, T. (2015)

^c Valor de ks con base en Monje (2006)

4.4 DEMANDA ACTUAL DE LOS JARDINES

4.4.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia

La ETo se calculó con base en los registros meteorológicos de la estación Von Humboldt, para un periodo de 15 años (2001-2015), utilizando el método Penman-Monteith y CROPWAT 8.0. La ETo calculada se muestra en el **Cuadro 30**.

Cuadro 30: ETo (2001-2015)

Mes	ETo (mm/día)	ETo (mm/mes)
ene	3,9	121
feb	4,26	119
mar	4,11	127
abr	3,68	110
may	2,65	82
jun	1,82	55
jul	1,7	53
ago	1,9	59
set	2,28	68
oct	2,85	88
nov	3,13	94
dic	3,39	105
Total	2,97^a	1 082

^a Trata de la ETo promedio diario

4.4.2 Determinación del coeficiente del jardín (KJ)

El procedimiento para determinar el KJ fue el siguiente:

- Cálculo del ks: como se presentó en el **Cuadro 27**, la mayoría de las especies de árboles presentan un uso de agua moderado, con un ks máximo de 0,6. Asimismo, estos, en su mayoría, están acompañadas de alguna especie de césped, siendo el más común el césped americano, que presenta un ks de 0,8.
- Cálculo del kd: todas las válvulas de riego presentaron una plantación predominante (tapizantes) y árboles con cubiertas de copa de 70% a 100%, por lo tanto, se le asignó un kd de 1.
- Cálculo del kmc: todas las válvulas de riego presentaron un entorno de campo abierto y sin vientos extraordinarios o atípicos, por lo tanto, se le asignó un kmc de 1.

Se determinó el coeficiente de jardín con la siguiente formula:

$$KJ = ks \times kd \times kmc$$

Se han considerado 105 válvulas de riego, para las cuales se ha determinado un KJ de 0,8.

4.4.3 Determinación de la demanda de agua

En el **Cuadro 31** se presenta la ETJ mensual, con una ETJ máxima de 3,41 mm/día y una lámina bruta máxima de 4,54 mm/día, en febrero. Asimismo, se obtuvo una ETJ mínima de 1,36 mm/día y una lámina bruta mínima de 1,81 mm/día, en julio. La lámina neta anual es de 866 mm y la lámina bruta anual de 1 154 mm. Para satisfacer la demanda anual de agua en 15,03 ha, se necesita un volumen anual bruto de 173 479 m³ de agua, aproximadamente.

Cuadro 31: Demanda de agua de los jardines

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	Set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ETJ (mm/día)	3,12	3,41	3,29	2,94	2,12	1,46	1,36	1,52	1,82	2,28	2,50	2,71	-
Precipitación efectiva (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Lamina neta (mm/mes)	97	95	102	88	66	44	42	47	55	71	75	84	866
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	-
Lamina bruta (mm/día)	4,16	4,54	4,38	3,93	2,83	1,94	1,81	2,03	2,43	3,04	3,34	3,62	-
Lamina bruta (mm/mes)	129	127	136	118	88	58	56	63	73	94	100	112	1 154
Demanda total de agua (m ³ /mes)	19 383	19 123	20 426	17 699	13 170	8 753	8 449	9 443	10 966	14 164	15 054	16 848	173 479
Demanda total de agua por semana (m ³ /semana)	4 377	4 781	4 612	4 130	2 974	2 042	1 908	2 132	2 559	3 198	3 513	3 804	-

4.5 BALANCE HÍDRICO ACTUAL DE LOS JARDINES

El balance hídrico se calcula con los resultados de oferta y demanda para las áreas de jardines de la UNALM. Por lo general, la demanda es cubierta en la mayoría de los meses. Los meses de mayor demanda son de enero a marzo; con un volumen de agua mensual entre 19 123 m³ y 20 426 m³. Cabe señalar que luego de cubrir las necesidades de los jardines con sistema de riego, el agua es usada para regar los jardines que no cuentan con este sistema y áreas agrícolas (fundo y huerto).

En el **Cuadro 32** y **Cuadro 33** se presentan los balances hídricos mensual y semanal, respectivamente, para los jardines de la UNALM.

Cuadro 32: Balance hídrico mensual para los jardines

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	Set	oct	nov	dic	Anual
Oferta (m ³)	29 587	19 083	23 652	26 283	30 574	25 782	33 677	30 165	16 164	26 232	24 480	30 725	316 404
Demanda (m ³)	19 383	19 123	20 426	17 699	13 170	8 753	8 449	9 443	10 966	14 164	15 054	16 848	173 479
Agua para áreas verdes sin sistema de riego y áreas agrícolas (m ³)	10 205	-40	3 226	8 584	17 403	17 028	25 229	20 723	5 198	12 067	9 426	13 877	142 925

Cuadro 33: Balance hídrico semanal para los jardines



Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
Oferta (m ³)	6 681	4 771	5 341	6 133	6 904	6 016	7 605	6 812	3 772	5 923	5 712	6 938
Demanda (m ³)	4 377	4 781	4 612	4 130	2 974	2 042	1 908	2 132	2 559	3 198	3 513	3 804
Agua para áreas verdes sin sistema de riego y áreas agrícolas (m ³)	2 304	-10	728	2 003	3 930	3 973	5 697	4 679	1 213	2 725	2 199	3 134

4.6 MÉTODO DE PROCESO ANALÍTICO JERARQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS

4.6.1 Especies de árboles

En el **Cuadro 34** se listan las 16 alternativas de especies de árboles, además de una descripción de cada una de ellas y dos fotografías: una de sus hojas y/o flores y una vista general de la especie. La descripción de las especies se realizó con base en Brescia De Fort (2010) y WUCOLS.

Cuadro 34: Alternativas de especies de árboles

<p>Nombre Científico: <i>Acacia longifolia</i></p> <p>Nombre Común: Mimosa</p> <p>Descripción: Árbol perennifolio, con copa redonda y crecimiento rápido.</p> <p>Hojas: verde grisáceo, alternas, pinnadas, delgadas y alargadas.</p> <p>Flores: en capítulos amarillos, agrupadas en pequeños racimos que nacen de la misma rama; florece a fines de invierno e inicios de primavera.</p> <p>Fruto: Legumbres largas y delgadas, color pardo claro.</p> <p>Diámetro de copa promedio: 7 metros</p> <p>Altura promedio: 6 metros</p> <p>ks: 0,3</p>		
---	--	--

Nombre Científico: *Casuarina cunninghamiana*

Nombre Común: Casuarina

Descripción: Árbol perennifolio, con copa estrecha y aspecto plumoso, apropiado como cortaviento.

Hojas: escamiformes, verticiladas en los nudos, en ramitas colgantes que le dan la apariencia de un pino.

Flores: masculinas en racimos pardos.

Frutos: seco, en conos duros color pardo.

Diámetro de copa promedio: 4 metros

Altura promedio: 16 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Chorisia speciosa*

Nombre Común: Ceibo

Descripción: Árbol caducifolio, con copa globosa y tronco verde brillante cuando el tallo es joven y grisáceo cuando es adulto, con espinas leñosas muy duras.

Hojas: verde claro.

Flores: rosadas, grandes, solitarias con 5 pétalos.

Frutos: semillas oscuras de 5 cm de diámetro, cubiertas de una fibra sedosa.

Diámetro de copa promedio: 10 metros

Altura promedio: 14 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Delonix regia*

Nombre Común: Poinciana real

Descripción: Árbol caducifolio, su copa proporciona excelente sombra en forma de sombrilla. Sus raíces crecen de una manera agresiva, por lo que debe contar con bastante espacio alrededor.

Hoja: verde intenso, alternas, pinnadas, foliolos pequeños.

Flores: rojo escarlata, muy llamativa.

Frutos: vaina pardo oscuro.

Diámetro de copa promedio: 9 metros

Altura promedio: 7 metros

ks: 0,5



Nombre Científico: *Eucalyptus camaldulensis*

Nombre Común: Eucalipto

Descripción: Árbol perennifolio, de grandes dimensiones, copa columnar e irregular.

Hojas: verde oscuro con tonos rojizos, lanceoladas.

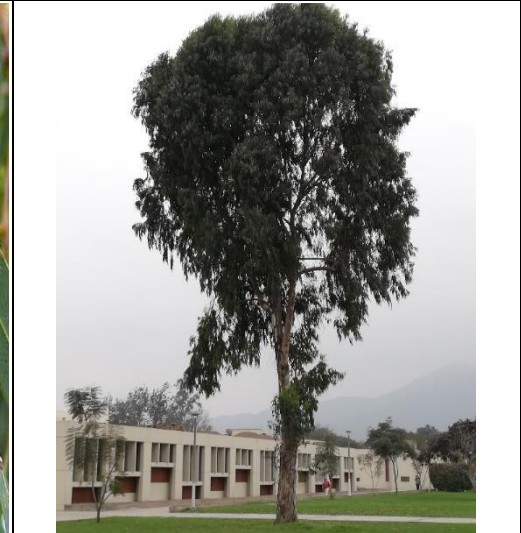
Flores: blancas o amarillo pálido, pequeñas.

Frutos: cápsulas aromáticas.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 16 metros

ks: 0,5



Nombre Científico: *Grevillea robusta*

Nombre Común: Grevilea

Descripción: Árbol perennifolio, de follaje denso. Copa cónica alta, delgada y cilíndrica.

Hoja: verde plateado, pinnadas, de 20 a 25 cm de largo.

Flores: anaranjado oscuro, racimos de 10 a 30 cm de largo; florece en primavera.

Frutos: folículos pequeños en racimos.

Diámetro de copa promedio: 6 metros

Altura promedio: 16 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Jacaranda mimosifolia*

Nombre Común: Jacaranda

Descripción: Árbol caducifolio, ramificado y de follaje ligero. Su ritmo de crecimiento es veloz. Requiere mantenimiento.

Hojas: verde claro, opuestas bipinnadas, con pequeños folíolos.

Flores: lila; florece en primavera y verano.

Frutos: cápsula pardo oscuro, leñosa, circular.

Diámetro de copa promedio: 9 metros

Altura promedio: 10 metros

ks: 0,4



Nombre Científico: *Koelreuteria paniculata*

Nombre Común: Papelillo

Descripción: Árbol semicaducifolio, copa globosa, redonda.

Hojas: bipinnadas, de 45 cm de largo.

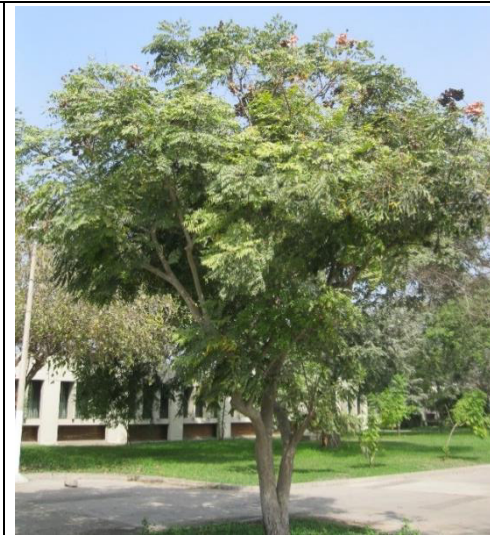
Flores: amarillas, en pequeños racimos, florece en verano.

Frutos: cápsula inflada en forma de farolito, rosado ocre y pardo al secarse.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,4



Nombre Científico: *Melia azedarach*

Nombre Común: Melia

Descripción: Árbol caducifolio, con copa semiglobosa con forma similar a una sombrilla.

Hojas: verde oscuro, con folíolos dentados, pinnadas.

Flores: lila claro, pequeñas, fragantes, reunidas en panículas.

Frutos: amarillo ocre, en drupas esféricas, persistentes durante el invierno.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Olea europaea*

Nombre Común: Olivo

Descripción: Árbol perennifolio, ramificado, con copa redondeada.

Hojas: verde oscuro, angostas, lanceoladas.

Flores: blanquecinas, en pequeños racimos de olor agradable; florece en verano.

Frutos: verde, en drupas carnosas que se tornan negras al madurar.

Diámetro de copa promedio: 6 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Parkinsonia aculeata*

Nombre Común: Azote de cristo

Descripción: Árbol perennifolio, de ramaje ligero y amplia copa, su tronco y sus ramas crecen desordenadas y están llenos de espinas. Sus flores crecen en racimos, son amarillas y tienen una mancha roja. Requiere poda de limpieza.

Hojas: verdes, en follaje aireado. Con numerosos foliolos pequeños.

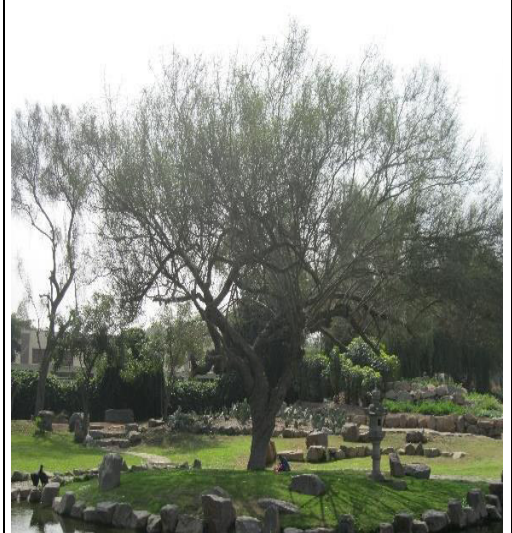
Flores: amarillas, fragantes en muchos racimos; florece en primavera, verano y otoño.

Frutos: vainas pardo oscuro.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Prosopis pallida*

Nombre Común: Huarango

Descripción: Árbol caducifolio, espinoso. Copa aparasolada extendida.

Hojas: verde oscuro, alternas, bipinnadas.

Flores: amarillas, pequeñas, en densos racimos.

Frutos: vainas largas, rojizas.

Diámetro de copa promedio: 7 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Schinus molle*

Nombre Común: Molle Serrano

Descripción: Árbol perennifolio, de ramas colgantes a modo de cortina, con una copa amplia y redondeada.

Hojas: verdes, alternas pinnadas, foliolos pequeños.

Flores: amarillo verdoso, pequeñas.

Frutos: bayas pequeñas rojo pálido, en racimos colgantes que permanecen todo el invierno.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,3



Nombre Científico: *Schinus terebinthifolius*

Nombre Común: Molle hawaiano

Descripción: Árbol perennifolio, con copa globosa.

Hojas: verde oscuro.

Flores: blancas, pequeñas, reunidas en racimos; florece en verano.

Frutos: rojo intenso, en racimos de bayas compactas y pequeñas.

Diámetro de copa promedio: 8 metros

Altura promedio: 8 metros

ks: 0,4



Nombre Científico: *Tecoma stans*

Nombre Común: Huaranhuay

Descripción: Árbol perennifolio, con copa irregular.

Hojas: verde intenso, borde dentado, pinnadas.

Flores: amarillo brillante, en racimos pendulares de 5 cm de largo; con flores casi todo el año.

Frutos: cápsulas de 20 cm de largo.

Diámetro de copa promedio: 7 metros

Altura promedio: 6 metros

ks: 0.3



Nombre Científico: *Tipuana tipu*

Nombre Común: Tipa

Descripción: Árbol caducifolio, con copa amplia, aparasolada.

Hojas: verde brillante, pinnadas.

Flores: amarillas, pequeñas, en racimos axilares en forma de mariposa, abundantes.

Frutos: aparecen al finalizar el verano y permanecen en la planta después de la caída de las hojas.

Diámetro de copa promedio: 10 metros

Altura promedio: 12 metros

ks: 0,3



A partir de los cuatro criterios mencionados en la Sección 3.8.1 (requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía, mantenimiento y tipo de copa), se asignó a cada especie de árbol una categoría y una clasificación por criterio. En el **Cuadro 35** se presentan las 16 especies de árboles con sus respectivas categorías y clasificación de prioridad asignadas por cada criterio.

Cuadro 35: Categorías y clasificación de prioridad de especies de árboles

Nombre Científico	Nombre común	ks	Criterio			
			Requerimiento hídrico (4)	Tolerancia a la sequía (3)	Mantenimiento (1)	Tipo de copa (3)
<i>Acacia longifolia</i>	Mimosa	0,3	Bajo (3)	Medio (2)	Bajo (3)	Alto (3)
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	0,3	Bajo (3)	Medio (2)	Bajo (3)	Bajo (1)
<i>Chorisia speciosa</i>	Ceibo	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Delonix regia</i>	Poinciana real	0,5	Alto (1)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	0,5	Alto (1)	Medio (2)	Bajo (3)	Bajo (1)
<i>Grevillea robusta</i>	Grevilea	0,3	Bajo (3)	Bajo (1)	Bajo (3)	Bajo (1)
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	0,4	Medio (2)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Papelillo	0,4	Medio (2)	Bajo (1)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Melia azedarach</i>	Melia	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Olea europaea</i>	Olivo	0,3	Bajo (3)	Medio (2)	Bajo (3)	Alto (3)
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Azote de cristo	0,3	Bajo (3)	Medio (2)	Bajo (3)	Alto (3)
<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)
<i>Schinus molle</i>	Molle Serrano	0,3	Bajo (3)	Medio (2)	Bajo (3)	Alto (3)
<i>Schinus Terebinthifolius</i>	Molle hawaiano	0,4	Medio (2)	Medio (2)	Bajo (3)	Alto (3)
<i>Tecoma stans</i>	Huaranhuay	0,3	Bajo (3)	Bajo (1)	Alto (1)	Alto (3)
<i>Tipuana tipu</i>	Tipa	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Alto (1)	Medio (2)

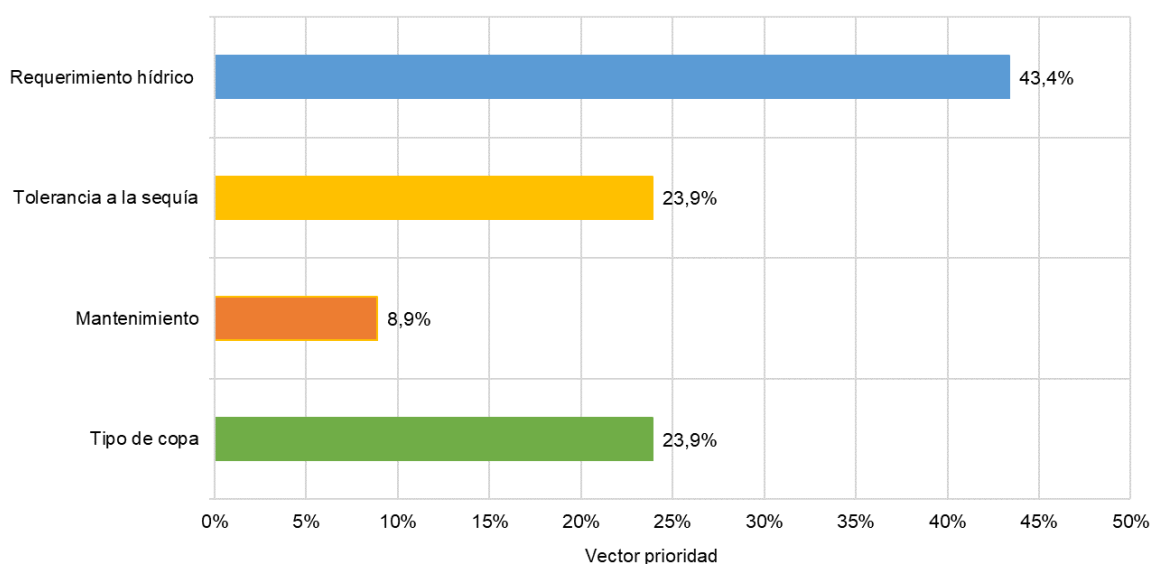
En el **Anexo 4** y **Anexo 5** se presenta el desarrollo de los cálculos de la matriz comparación por pares (MCP), la matriz normalizada (MCN), el cociente de consistencia (CR), el vector prioridad (VP) y el vector prioridad global (VPG) para las especies de árboles.

En la **Figura 20** se muestra el VP de cada uno de los criterios utilizados para las especies de árboles. La meta general es seleccionar especies de árboles con un bajo requerimiento hídrico y que sean resistentes a la sequía, por lo que los criterios con mayores VP fueron requerimiento hídrico (43,4 %) y tolerancia a la sequía (23,9 %).

Cabe señalar que debido a que la población universitaria busca zonas con sombra para mitigar el calor en el verano, se decidió que el criterio de tipo de copa reciba la misma prioridad que el criterio de tolerancia a la sequía.

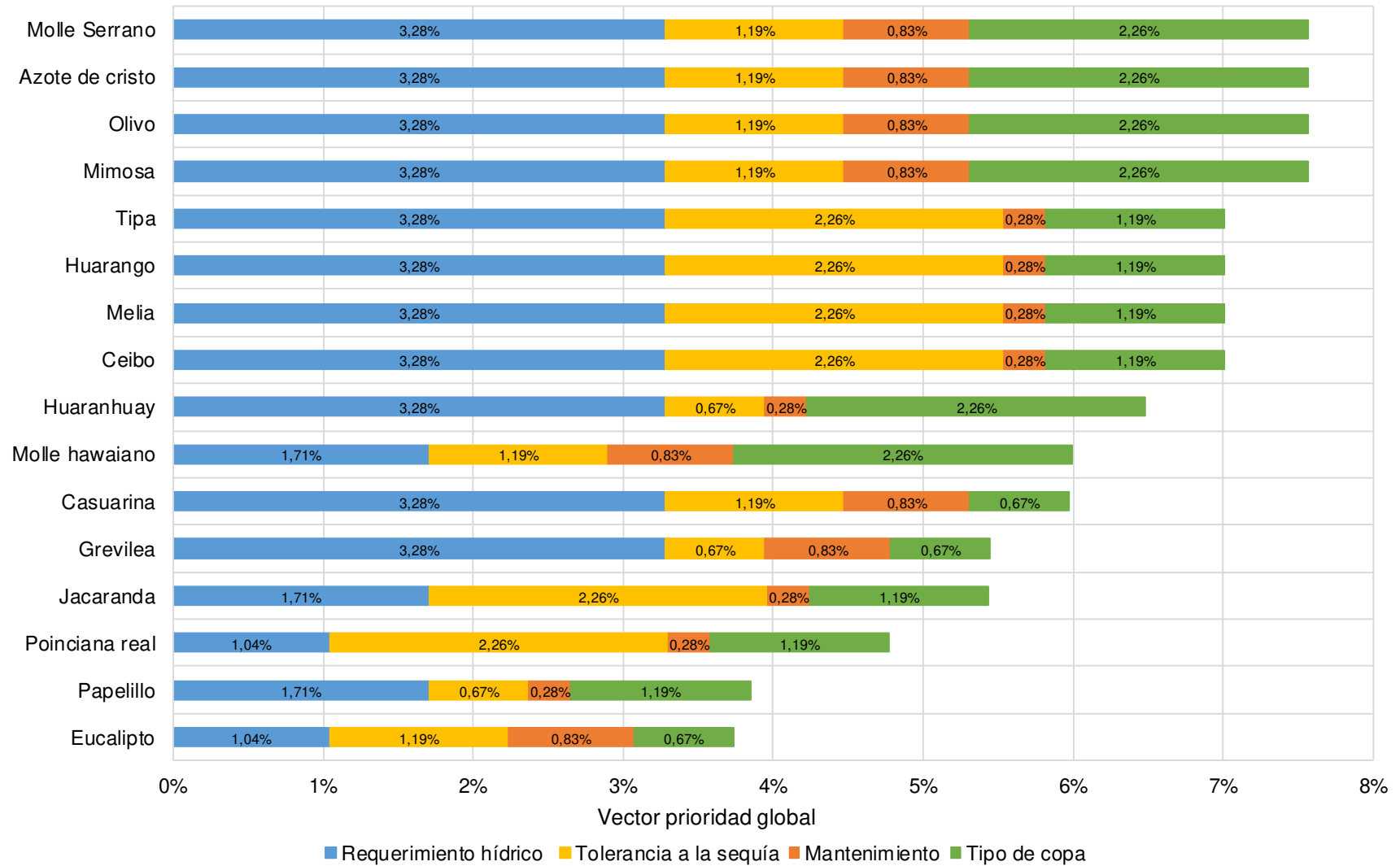
El criterio de mantenimiento se ha enfocado solo en la limpieza de hojas, flores, frutos, entre otros. En comparación con los otros criterios, este es menos relevante.

Figura 20: VP entre criterios de especies de árboles



En la **Figura 21** se muestran los VP que ha recibido cada especie de árbol por cada uno de los criterios. Cabe mencionar que la suma de los cuatro VP resulta en el VPG. Se observa que la mayoría de las especies de árboles tienen un bajo consumo de agua, siendo los otros tres criterios los que definen que tan recomendable es una especie de árbol con respecto de otra para ser usada en los jardines.

Figura 21: VPG de especies de árboles



El porcentaje mínimo de recomendación, calculado como la unidad entre el número de alternativas, representa el porcentaje promedio de las especies si estas hubiesen obtenido el mismo VPG. Las alternativas de especies de árboles han sido agrupadas considerando el porcentaje mínimo de recomendación: muy recomendable (VPG mayor al 6,25 %) y recomendable (VPG menor al 6,25 %).

En el **Cuadro 36** se muestra la agrupación de las especies de árboles según el VPG obtenido.

Cuadro 36: Agrupación de especies de árboles

Nombre científico	Nombre común	VPG (%)	Agrupación
<i>Acacia longifolia</i>	Mimosa	7,57	Muy recomendable
<i>Olea europaea</i>	Olivo	7,57	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Azote de cristo	7,57	
<i>Schinus molle</i>	Molle Serrano	7,57	
<i>Chorisia speciosa</i>	Ceibo	7,01	
<i>Melia azedarach</i>	Melia	7,01	
<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	7,01	
<i>Tipuana tipu</i>	Tipa	7,01	
<i>Tecoma stans</i>	Huaranhuay	6,48	
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Molle hawaiano	5,99	Recomendable
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	5,98	
<i>Grevillea robusta</i>	Grevilea	5,45	
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	5,44	
<i>Delonix regia</i>	Poinciana real	4,77	
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Papelillo	3,85	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	3,74	

Se agruparon nueve especies de árboles como muy recomendables, las cuales obtuvieron los VPG mayores a 6,25 % y, por lo tanto, las más aptas para cumplir la meta general. Todas las especies en este grupo obtuvieron un VP alto en el criterio de requerimiento hídrico y, además, en el criterio de tolerancia a la sequía o en el tipo de copa. La Mimosa (7,57 %), Olivo (7,57 %), Azote de cristo (7,57%) y Molle serrano (7,57 %) obtuvieron los VPG más altos debido a VP altos en requerimiento hídrico, mantenimiento y tipo de copa.



Se agruparon siete especies como recomendables, las cuales obtuvieron los VPG menores a 6,25%. Estas especies obtuvieron solo un criterio con un VP alto, como Molle hawaiano, Casuarina, Jacaranda, Grevilea y Poinciana real. El Papelillo y Eucalipto obtuvieron los VPG por debajo del 4 % debido a que no presentaron VP altos para ningún criterio.

Las especies agrupadas como recomendables han sido incluidas en menor cantidad en el sistema de consulta, principalmente para mantener el paisaje existente. Asimismo, en zonas puntuales de los jardines de la UNALM existen agrupaciones definidas de algunas especies de palmeras o de árboles frutales que no han sido utilizadas para la selección de especies de este estudio. En estos casos específicos, estas especies serían incorporadas a las especies de la zona para mantener el paisaje.

4.6.2 Especies de cubresuelos

En el **Cuadro 37** se listan las cinco alternativas de especies de cubresuelos, además de una descripción de cada una de ellas y una fotografía. La descripción de las especies se realizó con base en Brescia De Fort (2010) y WUCOLS.

Cuadro 37: Alternativas de especies de cubresuelos

<p>Nombre Científico: <i>Aptenia cordifolia</i></p> <p>Nombre Común: Planta del rocío</p> <p>Descripción: Planta siempre verde, rastrera, suculenta, perenne, excelente cubresuelo.</p> <p>Hojas: verde brillante, carnosas ovaladas, de 25 mm de largo.</p> <p>Flores: rosadas, púrpuras, pequeñas, de 1 cm, como margaritas. Florece en primavera-verano.</p> <p>Luz: pleno sol o semisombra</p> <p>Poda: de limpieza anual</p> <p>ks: 0,3</p> <p>Tipo: CAM</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Carpobrotus edulis</i></p> <p>Nombre Común: Clavel chino</p> <p>Descripción: Planta siempreverde, suculenta, excelente cubresuelo, con ramas leñosas que van enraizándose a lo largo del terreno. Altura de 30 cm. Crecimiento rápido.</p> <p>Hojas: verde oscuro, angulares, con tres caras.</p> <p>Flores: cremas, amarillas, rosadas, lavandas, con muchos pétalos lineales.</p> <p>Luz: pleno sol o semisombra</p> <p>Poda: de limpieza anual</p> <p>ks: 0,3</p> <p>Tipo: CAM</p>	

<p>Nombre Científico: <i>Gazania rigens</i></p> <p>Nombre Común: Gazania</p> <p>Descripción: Planta siempre verde.</p> <p>Hojas: verde en el haz y gris claro en el envés.</p> <p>Flores: amarillo en el margen y pardo oscuro al centro.</p> <p>Luz: pleno sol o semisombra</p> <p>Poda: de limpieza, necesita poco mantenimiento. Puede podarse al comenzar la primavera y muy pronto la planta logra todo su esplendor</p> <p>ks: 0,5</p> <p>Tipo: C3</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Lantana montevidensis</i></p> <p>Nombre Común: Lantana rastrera</p> <p>Descripción: Planta rastrera, perenne, siempreverde. Ramas quebradizas y colgantes, de crecimiento rápido.</p> <p>Hojas: verde grisáceo, pequeñas, de unos 3 cm de largo, espinosas, rugosas, de olor fuerte y penetrante.</p> <p>Flores: pequeñas flores violáceas, blancas y amarillas.</p> <p>Luz: pleno sol o semisombra. En clima cálido florece todo el año, especialmente en verano</p> <p>Poda: de limpieza en primavera, necesita poco mantenimiento</p> <p>ks: 0,5</p> <p>Tipo: C3</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Festuca ovina</i></p> <p>Nombre Común: Festuca</p> <p>Descripción: Cubresuelo anual y perenne de 20 cm de altura, de forma esférica y crecimiento rápido.</p> <p>Hojas: verde grisáceo, lineales, alargadas, afiladas.</p> <p>Flores: aparecen al final de un largo tallo en un agrupamiento muy apinado y angosto.</p> <p>Luz: pleno sol o semisombra</p> <p>Poda: de formación, puede podarse al comenzar la primavera y muy pronto la planta logra todo su esplendor</p> <p>ks: 0,3</p> <p>Tipo: C3</p>	

A partir de los tres criterios mencionados en la Sección 3.8.2 (requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía y mantenimiento), se asignó a cada especie de cubresuelo una categoría y una clasificación por criterio. En el **Cuadro 38** se presentan las cinco especies de cubresuelos con sus respectivas categorías y clasificación de prioridad asignadas por cada criterio.

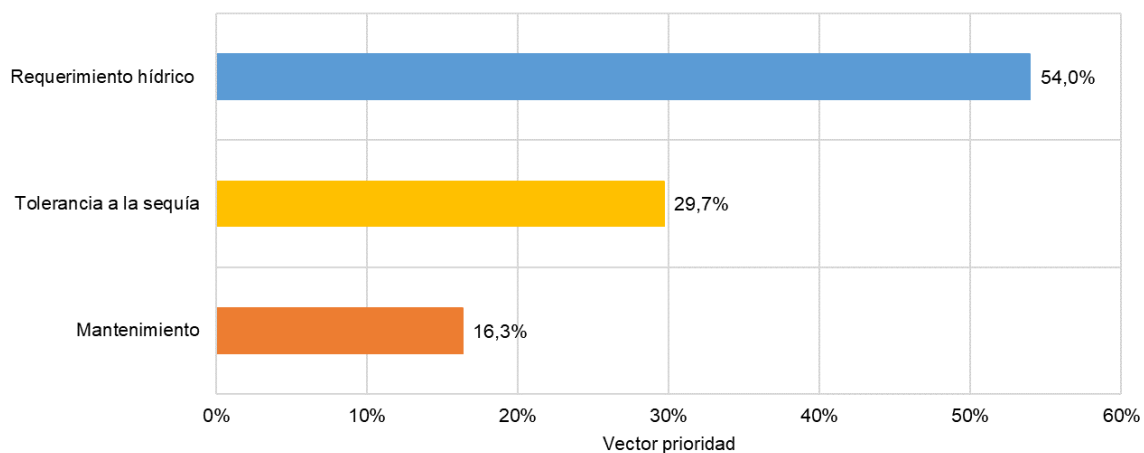
Cuadro 38: Categorías y clasificación de prioridad de especies de cubresuelos

Nombre científico	Nombre común	ks	Criterio		
			Requerimiento hídrico (3)	Tolerancia a la sequía (2)	Mantenimiento (1)
<i>Aptenia cordifolia</i>	Planta del rocío	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Bajo (2)
<i>Carpobrotus edulis</i>	Clavel chino	0,3	Bajo (3)	Alto (3)	Bajo (2)
<i>Gazania rigens</i>	Gazania	0,5	Alto (1)	Bajo (1)	Alto (1)
<i>Lantana montevidensis</i>	Lantana rastrera	0,5	Alto (1)	Bajo (1)	Alto (1)
<i>Festuca ovina</i>	Festuca	0,4	Medio (2)	Bajo (1)	Alto (1)

En el **Anexo 6** y **Anexo 7** se presenta el desarrollo de los cálculos de la matriz comparación por pares (MCP), la matriz normalizada (MCN), el cociente de consistencia (CR), el vector prioridad (VP) y el vector prioridad global (VPG) para las especies de cubresuelos.

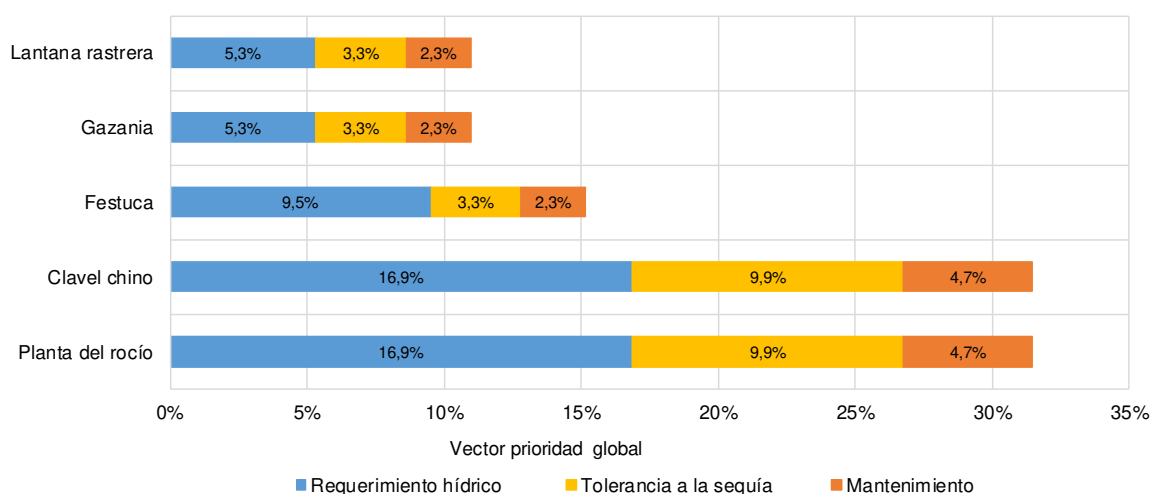
En la **Figura 22** se muestra el VP de cada uno de los criterios de especies de cubresuelos. La meta general es seleccionar especies de cubresuelos con un bajo requerimiento hídrico y que sean resistentes a la sequía, por lo que los criterios con mayor VP fueron requerimiento hídrico (54 %) y tolerancia a la sequía, (29,7 %).

Figura 22: VP entre criterios de especies de cubresuelo



En la **Figura 23** se muestra los VP que ha recibido cada especie de cubresuelo por cada uno de los criterios. Cabe mencionar que la suma de los cuatro VP resulta en el VPG.

Figura 23: VPG de especies de cubresuelos



El porcentaje mínimo de recomendación, calculado como la unidad entre el número de alternativas, representa el porcentaje promedio de las especies si estas hubiesen obtenido el mismo VPG. Las alternativas de especies de cubresuelos han sido agrupadas considerando el porcentaje mínimo de recomendación: muy recomendable (VPG mayor al 20 %) y recomendable (VPG menor al 20 %).

En el **Cuadro 39** se muestra la agrupación de las especies de cubresuelos según el VPG obtenido.

Cuadro 39: Agrupación de especies de cubresuelos

Nombre científico	Nombre común	VPG (%)	Agrupación
<i>Aptenia cordifolia</i>	Planta del rocío	31,46%	Muy recomendable
<i>Carpobrotus edulis</i>	Clavel chino	31,46%	
<i>Festuca ovina</i>	Festuca	15,15%	Recomendable
<i>Gazania rigens</i>	Gazania	10,97%	
<i>Lantana montevidensis</i>	Lantana rastrera	10,97%	





Las especies de cubresuelos muy recomendables a implementar en los jardines de la UNALM son la Planta del rocío y el Clavel chino, ambas con un VPG de 31,5 %. Estas especies presentan un metabolismo fotosintético CAM, el cual les permite ser más eficientes al consumir agua, por lo que las hace las más aptas para cumplir la meta general.

La Festuca (15,2 %), Lantana rastrera (11,0 %) y Gazania (11,0 %) obtuvieron un VP bajo en el criterio de requerimiento hídrico y tolerancia a la sequía. Estas especies, con un VPG menor al porcentaje mínimo de recomendación (20 %), no cumplen con la meta general y, por ende, no se propone implementar en las áreas verdes de la UNALM.

4.6.3 Especies de césped

En el **Cuadro 40** se listan las tres alternativas de especies de césped, además de una descripción de cada una de ellas y dos fotografías. La descripción de las especies se realizó con base en Monje Jiménez (2006), Semillas Fito S.A. (2010), Wherley et al. (2015), Giraldo-Cañas (2010) y Office of Gene Techonology Regulator (2018).

Cuadro 40: Alternativas de especies de césped

<p>Nombre científico: <i>Cynodon dactylon</i></p> <p>Nombre común: Césped Bermuda</p> <p>Descripción: Es una especie perenne de clima cálido. Requiere una alta luminosidad, no desarrollándose favorablemente bajo condiciones de sombra. Es bastante resistente al pisoteo y utilizado en áreas deportivas.</p> <p>Poda ^a: En verano se realiza una poda con frecuencia entre 7 y 10 días</p> <p>Resistencia a la sequía ^a: Superior</p> <p>ks ^b: 0,70</p> <p>Tipo ^d: C₄</p>		
<p>Nombre científico: <i>Stenotaphrum secundatum</i></p> <p>Nombre común: Césped Americano</p> <p>Descripción: Es una planta perenne y robusta. Prospera bien en zonas donde se reciben alrededor de 50 % del total de luz solar. Es bastante resistente al pisoteo pero no suele tolerar el tráfico intenso.</p> <p>Poda ^a: En verano se realiza una poda con frecuencia entre 7 y 10 días</p> <p>Resistencia a la sequía ^a: Bueno</p> <p>ks ^c: 0,80</p> <p>Tipo ^e: C₄</p>		

Nombre científico: *Paspalum notatum*

Nombre común: Césped Paspalum

Descripción: Es una planta perenne.

Requiere una alta luminosidad, no desarrollándose favorablemente bajo condiciones de sombra.

Resiste el pisoteo poco frecuente.

Poda ^a: En verano se realiza una poda con frecuencia entre 10 y 15 días

Resistencia a la sequía ^a: Excelente

ks ^c: 0,80

Tipo ^d: C₄



^a (Monje Jiménez 2006)

^b (Semillas Fito S.A. 2010)

^c (Wherley et al. 2015)

^d (Giraldo-Cañas 2010)

^e (Office of the Gene Technology Regulator 2018)

A partir de los cuatro criterios mencionados en la Sección 3.8.3 (requerimiento hídrico, tolerancia a la sequía, funcionalidad y mantenimiento), se asignó a cada especie de césped una categoría y una clasificación por criterio. En el **Cuadro 41** se presentan las tres especies de césped con sus respectivas categorías y clasificación de prioridad asignadas por cada criterio.

Cuadro 41: Categorías y clasificación de prioridad de especies de césped

Nombre científico	Nombre común	ks	Criterio				
			Requerimiento hídrico (2)	Tolerancia a la sequía (2)	Funcionalidad (4)		Mantenimiento (1)
					Resistencia a la sombra (3)	Resistencia al pisoteo (1)	
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda	0,7	Bajo (2)	Alto (3)	Bajo (1)	Alto (2)	Medio (1)
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Pasto americano	0,8	Alto (1)	Bajo (1)	Alto (3)	Medio (1)	Medio (1)
<i>Paspalum notatum</i>	Paspalum	0,8	Alto (1)	Medio (2)	Bajo (1)	Medio (1)	Bajo (2)

En el **Anexo 8**, **Anexo 9** y **Anexo 10** se presenta el desarrollo de los cálculos de la matriz comparación por pares (MCP), la matriz normalizada (MCN), el cociente de consistencia (CR), el vector prioridad (VP) y el vector prioridad global (VPG) las especies de césped.

En las **Figura 24** y **Figura 25** se muestran los VP de cada uno de los criterios y sub-criterios de las especies de césped, respectivamente. El mayor porcentaje lo obtuvo el criterio de funcionalidad, con un VP de 51,4 %, seguido del criterio de requerimiento hídrico y el de tolerancia a la sequía, ambos con 19,0 %. El criterio de funcionalidad cuenta con dos sub-criterios: de resistencia al pisoteo, con un VP de 25 %, y de resistencia a la sombra, con un VP de 75 %.

La meta general es que la especie de césped tenga la mejor funcionalidad, pues va a estar sometido a tránsito leve por la población universitaria y a una semisombra constante por los árboles.

Figura 24: VP de los criterios de especies de césped

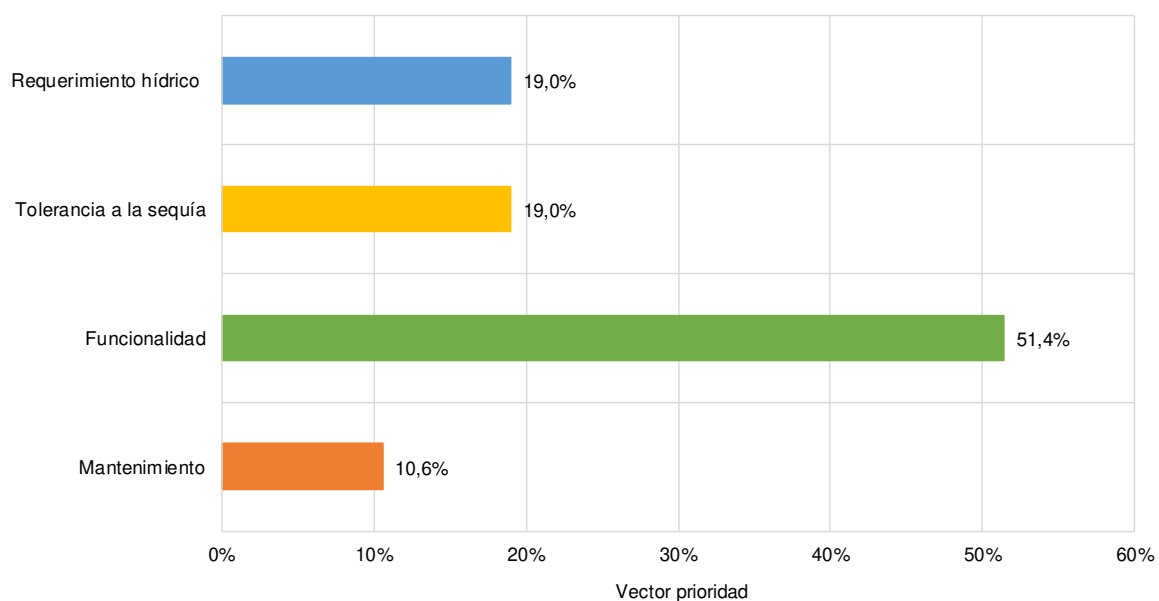
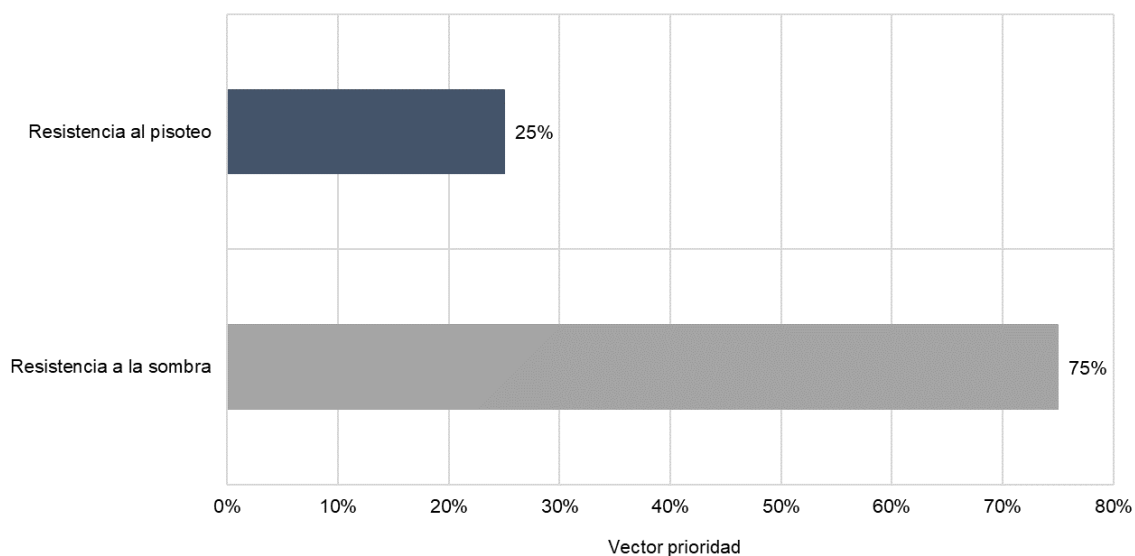
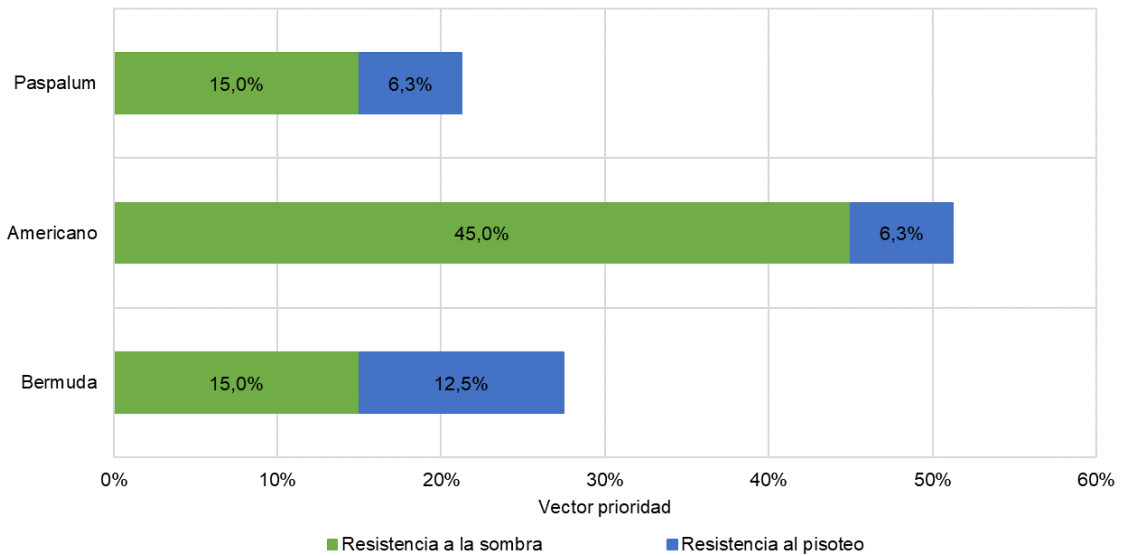


Figura 25: VP de los sub-criterios del criterio de funcionalidad



En la **Figura 26** se muestra los VP que ha recibido cada especie de césped por cada uno de los sub-criterios. El césped americano recibió el mayor VP en el criterio de funcionalidad, destacando de las otras especies por su resistencia a la sombra. Se encuentra seguido por el césped Bermuda, destacando por su alta resistencia al pisoteo, pues este es utilizado para zonas deportivas.

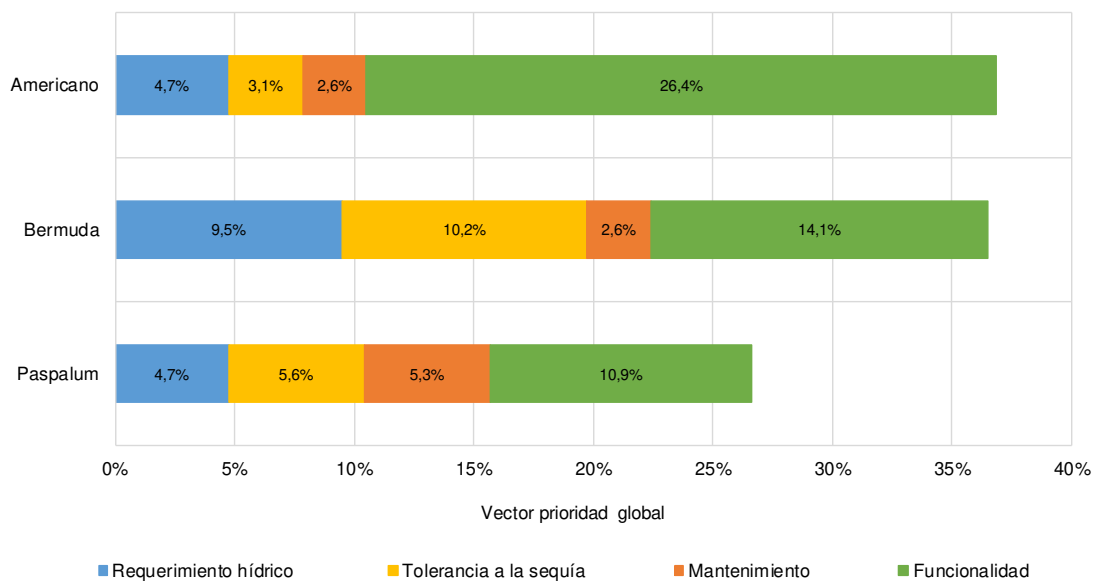
Figura 26: VP del criterio de funcionalidad de las especies de césped



Cabe resaltar que el césped americano destaca por su resistencia a la sombra, en comparación con las otras especies, lo cual lo hace ideal para zonas de descanso. Por otra parte, el césped Bermuda cuenta con una alta resistencia al pisoteo o al tránsito, siendo ideal para áreas deportivas y áreas con alta luminosidad.

En la **Figura 27** se muestra los VP que ha recibido cada especie de césped cada uno de los criterios. Cabe mencionar que la suma de los cuatro VP resulta en el VPG. El césped Americano recibió un VPG de 36,9 %, seguido del césped Bermuda, con 36,5 %, y, por último, el césped Paspalum, con 26,6 %, muy por debajo de las otras dos especies.

Figura 27: VPG de especies de césped



El porcentaje mínimo de recomendación, calculado como la unidad entre el número de alternativas, representa el porcentaje promedio de las especies si estas hubiesen obtenido el mismo VPG. Las alternativas de especies de césped han sido agrupadas considerando el porcentaje mínimo de recomendación: muy recomendable (VPG mayor al 33,3 %) y recomendable (VPG menor al 33,3 %).

En el **Cuadro 42** se muestra la agrupación de las especies de césped según el VPG obtenido y se zonifica la especie dependiendo del área verde más indicada para su uso.

Cuadro 42: Agrupación de especies de césped

Nombre científico	Nombre común	VPG (%)	Agrupación	Zonificación
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Americano	36,9	Muy recomendable (dependiendo del uso)	Áreas bajo sombra
<i>Cynodon dactylon</i>	Bermuda	36,5		Áreas deportivas o con alta luminosidad
<i>Paspalum notatum</i>	Paspalum	26,6	recomendable	-

El césped Americano y Bermuda obtuvieron VPG similares; siendo el césped Americano ligeramente mayor, debido a un VP alto en funcionalidad. El césped Americano es ideal para zonas bajo sombra, en donde se reducirá su evapotranspiración. El césped Bermuda recibió un VP alto en requerimiento hídrico y tolerancia a la sequía, lo cual lo hace ideal para zonas abiertas, con alta luminosidad, por lo que se consideró ubicarlo en áreas deportivas.

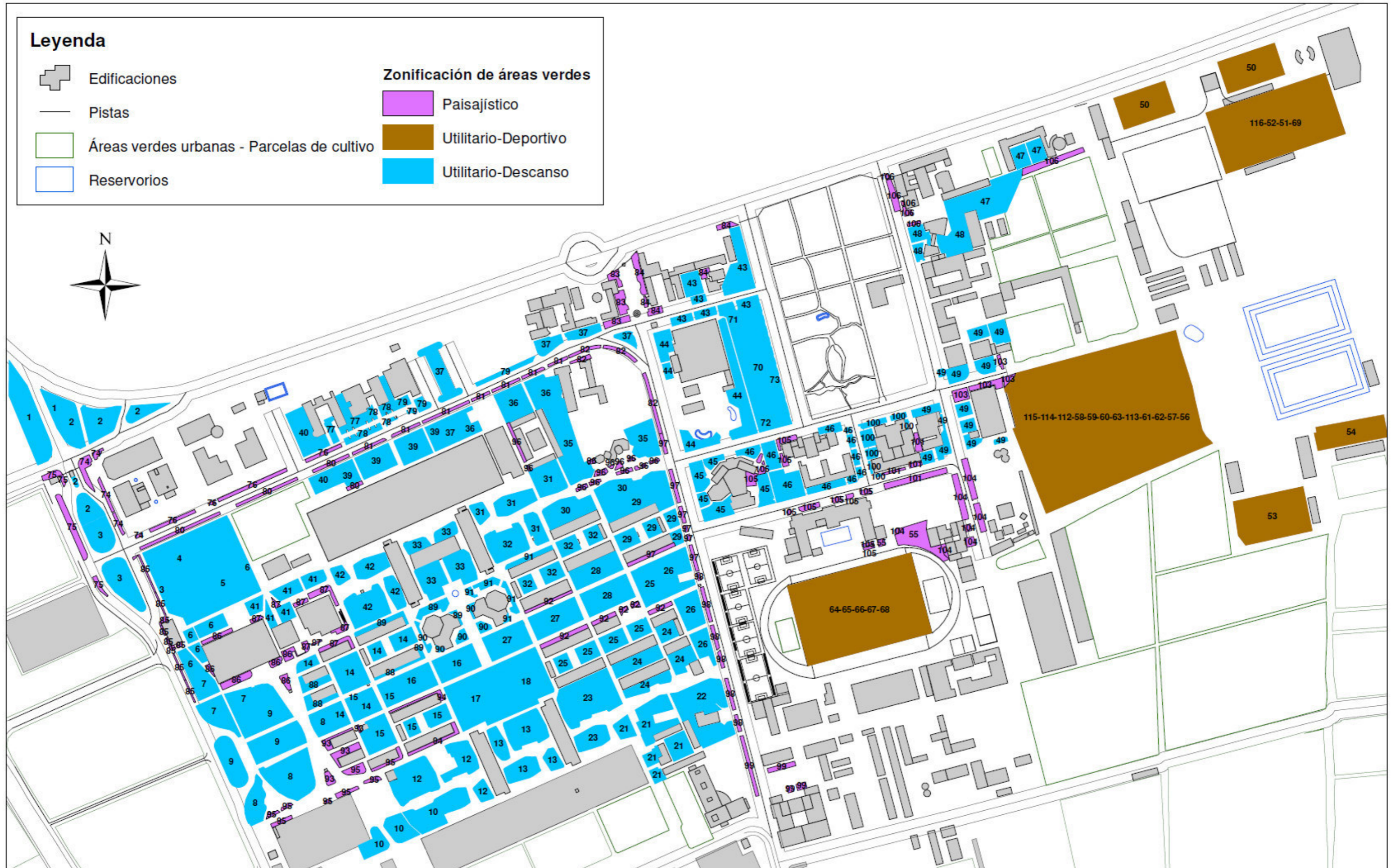
4.7 ZONIFICACIÓN DE AREAS VERDES SEGÚN EL TIPO DE USO Y ESPECIES DE PLANTAS A IMPLEMENTAR

Se zonificó cada área verde según el tipo de uso que recibe: utilitario (descanso o deportivo) o paisajístico (corredores). Además, para cada válvula de riego se seleccionó un tipo de césped o cubresuelo específico (ver **Cuadro 43**). En la **Figura 28** se muestra la ubicación de cada válvula de riego con su respectivo tipo de uso.

Cuadro 43: Uso de áreas verdes y especies de césped o cubresuelos por válvulas de riego

Válvulas de riego	Uso de áreas verdes	Especies de césped o cubresuelos	Válvulas de riego	Uso de áreas verdes	Especies de césped o cubresuelos	Válvulas de riego	Uso de áreas verdes	Especies de césped o cubresuelos
Rotores								
1-10	Utilitario-Descanso	Césped Americano	21-33	Utilitario-Descanso	Césped Americano	39-49	Utilitario-Descanso	Césped Americano
12-18	Utilitario-Descanso	Césped Americano	35-37	Utilitario-Descanso	Césped Americano	55	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino
Falcon								
56-57	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda	64-68	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda	70-73	Utilitario-Descanso	Césped Americano
Difusores								
74-76	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino	92-99	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino	103-104	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino
77-79	Utilitario-Descanso	Césped Americano	100	Utilitario-Descanso	Césped Americano	105	Utilitario-Descanso	Césped Americano
80 – 87	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino	101	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino	106	Paisajístico	Planta del rocío o Clavel chino
88-91	Utilitario-Descanso	Césped Americano	-	-	-	-	-	-
Controlador convencional								
50-54	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda	69	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda	112-116	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda
58-63	Utilitario-Deportivo	Césped Bermuda	-	-	-	-	-	-

Figura 28: Zonificación de áreas verdes según el tipo de uso



En el **Cuadro 44** se presenta el área y el porcentaje de áreas verdes en la UNALM según su tipo de uso.

Cuadro 44: Porcentaje de áreas según el tipo de uso

Zona	Área (ha)	Porcentaje de área (%)
Utilitario – Descanso	9,52	63,3
Paisajístico	1,24	8,3
Utilitario – Deportivo	4,27	28,4
Total	15,03	100

Asimismo, se integraron las especies seleccionadas de árboles en cada una de las válvulas de riego manteniendo la armonía con el paisaje existente. En total, se integraron 626 árboles y 14 palmeras. En el **Cuadro 45** se listan las especies integradas, así como sus ks y el número de ejemplares por especie.

Cuadro 45: Especies de árboles y palmeras integradas

Nº	Nombre científico	Nombre Común	Diámetro promedio de copa (m)	ks	Cantidad
1	<i>Acacia longifolia</i>	Mimosa	7	0,3	79
2	<i>Annona cherimola</i>	Chirimoya	6	0,6	5
3	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	4	0,3	14
4	<i>Chorisia speciosa</i>	Ceiba	10	0,3	10
5	<i>Delonix regia</i>	Poinciana real	9	0,5	2
6	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	9	0,4	17
7	<i>Mangifera indica</i>	Mango	8	0,6	6
8	<i>Melia azedarach</i>	Meliá	8	0,3	162
9	<i>Olea europaea</i>	Olivo	6	0,3	50
10	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Azote de cristo	8	0,3	4
11	<i>Persea americana</i>	Palto	6	0,6	3
12	<i>Phoenix canariensis</i>	Palmera fénix	5	0,3	3
13	<i>Prosopis pallida</i>	Huarango	7	0,3	14
14	<i>Schinus molle</i>	Molle serrano	8	0,2	102
15	<i>Schinus Terebinthifolius</i>	Molle hawaiano	8	0,4	31
16	<i>Tecoma stans</i>	Huaranhuay	7	0,3	43
17	<i>Tipuana tipu</i>	Tipa	10	0,3	86
18	<i>Washingtonia robusta</i>	Palmera abanico	4	0,3	9

En el **Anexo 11** se presenta la figura de la distribución de árboles por válvulas de riego con su respectivo coeficiente de especie.

4.8 DEMANDA DE LOS JARDINES CON LAS ESPECIES SELECCIONADAS A IMPLEMENTAR

4.8.1 Determinación de la evapotranspiración de referencia

Se usó la ETo presentada en el **Cuadro 30** (Sección 4.4.1).

4.8.2 Determinación del nuevo coeficiente del jardín (KJ)

El procedimiento para determinar el KJ fue el siguiente:

- Determinación del ks: Para cada válvula de riego, se seleccionó la categoría a la cual pertenece cada especie de árbol o palmera y se eligió el mayor ks de la especie. El ks seleccionado se comparó con el del cubresuelo o césped del área de riego, eligiendo el mayor ks entre los dos (ver **Cuadro 46**).
- Determinación del kd: Todas las válvulas de riego presentaron una plantación predominante (tapizantes) y/o árboles con cubiertas de copa del 70 % al 100 %, por lo que se le asignó un kd de 1 (ver **Cuadro 46**).
- Determinación del kmc: Cada válvula de riego ubicada en áreas sin sombra o áreas cercanas a corredores recibió un kmc de 1; y, para las áreas con sombra, un kmc de 0,8 (ver **Cuadro 46**).

Se determinó el KJ con la siguiente fórmula:

$$KJ = ks \times kd \times kmc$$

En el **Cuadro 46** se presentan los KJ que se usara para cada turno de riego, con sus respectivas áreas.

Cuadro 46: KJ para cada válvula de riego

Válvulas de riego	ks	kd	kmc	KJ	Área (m ²)	Válvulas de riego	ks	kd	kmc	KJ	Área (m ²)	Válvulas de riego	ks	kd	kmc	KJ	Área (m ²)
Rotores																	
1 a 6	0,80	1,00	1,00	0,80	13 316	22 a 32	0,80	1,00	0,80	0,64	21 343	39 a 42	0,80	1,00	0,80	0,64	6 448
7 a 10	0,80	1,00	0,80	0,64	9 654	33	0,80	1,00	1,00	0,80	1 808	43 a 49	0,80	1,00	1,00	0,80	12 389
12 a 18	0,80	1,00	0,80	0,64	14 383	35 a 37	0,80	1,00	0,80	0,64	6 535	55	0,50	1,00	1,00	0,50	741
21	0,80	1,00	1,00	0,80	1 931	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Falcon																	
56 a 57	0,70	1,00	1,00	0,70	3 296	64 a 68	0,70	1,00	1,00	0,70	8 864	70 a 73	0,80	1,00	1,00	0,80	3 606
Difusores																	
74 a 75	0,60	1,00	1,00	0,60	962	88 a 91	0,80	1,00	1,00	0,80	1 836	98 a 99	0,60	1,00	1,00	0,60	782
76	0,30	1,00	1,00	0,30	480	92	0,30	1,00	1,00	0,30	551	100	0,80	1,00	0,80	0,64	486
77 a 79	0,80	1,00	0,80	0,64	1 539	93	0,60	1,00	1,00	0,60	398	101	0,50	1,00	1,00	0,50	483
80	0,30	1,00	1,00	0,30	548	94	0,30	1,00	1,00	0,30	288	103	0,40	1,00	1,00	0,40	422
81 a 84	0,60	1,00	1,00	0,60	1 818	95	0,50	1,00	1,00	0,50	550	104	0,60	1,00	1,00	0,60	782
85	0,30	1,00	1,00	0,30	258	96	0,60	1,00	1,00	0,60	436	105	0,40	1,00	1,00	0,40	611
86	0,60	1,00	1,00	0,60	581	97	0,50	1,00	1,00	0,50	492	106	0,50	1,00	1,00	0,50	588
87	0,50	1,00	1,00	0,50	575	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Controlador convencional																	
50 a 54	0,70	1,00	1,00	0,70	10 672	69	0,70	1,00	1,00	0,70	1 696	112 a 116	0,70	1,00	1,00	0,70	8 288
58 a 63	0,70	1,00	1,00	0,70	9 888	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.8.3 Determinación de la nueva demanda de agua

Se agrupó cada una de las áreas verdes por su KJ y se determinó la demanda de agua para las plantas seleccionadas.

En el **Cuadro 47** se listan los KJ con sus respectivas áreas. En la **Figura 29** se muestra la zonificación según el coeficiente de jardín.

En el **Cuadro 48, Cuadro 49, Cuadro 50, Cuadro 51, Cuadro 52, Cuadro 53 y Cuadro 54** se presenta la determinación de las demandas de agua para cada uno de los KJ. En el **Cuadro 55** se presenta la demanda bruta total de agua de las áreas verdes de la UNALM, obteniendo, aproximadamente, 148 131 m³ de agua anual.

Cuadro 47: KJ para la nueva demanda de agua

KJ	Área (ha)	Porcentaje de área (%)
0,80	3,49	23,2%
0,70	4,27	28,4%
0,64	6,04	40,2%
0,60	0,58	3,8%
0,50	0,34	2,3%
0,40	0,10	0,7%
0,30	0,21	1,4%
Total	15,03	100

Figura 29: Zonificación según el coeficiente de jardín



Cuadro 48: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,80

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
ETJ (mm/día)	3,12	3,41	3,29	2,94	2,12	1,46	1,36	1,52	1,82	2,28	2,50	2,71	-
Lamina neta (mm/mes)	96,72	95,42	101,93	88,32	65,72	43,68	42,16	47,12	54,72	70,68	75,12	84,07	866
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	4,16	4,54	4,38	3,93	2,83	1,94	1,81	2,03	2,43	3,04	3,34	3,62	-
Lamina bruta (mm/mes)	128,96	127,23	135,90	117,76	87,63	58,24	56,21	62,83	72,96	94,24	100,16	112,10	1 154
Demanda de agua (m ³ /mes)	4 499	4 439	4 741	4 108	3 057	2 032	1 961	2 192	2 545	3 288	3 494	3 911	40 266
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	1 016	1 110	1 071	959	690	474	443	495	594	742	815	883	-

Cuadro 49: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,70

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
ETJ (mm/día)	2,73	2,98	2,88	2,58	1,86	1,27	1,19	1,33	1,60	2,00	2,19	2,37	-
Lamina neta (mm/mes)	84,63	83,50	89,19	77,28	57,51	38,22	36,89	41,23	47,88	61,85	65,73	73,56	757
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	3,64	3,98	3,84	3,43	2,47	1,70	1,59	1,77	2,13	2,66	2,92	3,16	-
Lamina bruta (mm/mes)	112,84	111,33	118,92	103,04	76,67	50,96	49,19	54,97	63,84	82,46	87,64	98,08	1 010
Demanda de agua (m ³ /mes)	4 819	4 754	5 078	4 400	3 274	2 176	2 100	2 348	2 726	3 521	3 743	4 189	43 129
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	1 088	1 189	1 147	1 027	739	508	474	530	636	795	873	946	-

Cuadro 50: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,64

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
ETJ (mm/día)	2,50	2,73	2,63	2,36	1,70	1,16	1,09	1,22	1,46	1,82	2,00	2,17	-
Lamina neta (mm/mes)	77,38	76,34	81,54	70,66	52,58	34,94	33,73	37,70	43,78	56,54	60,10	67,26	693
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	3,33	3,64	3,51	3,14	2,26	1,55	1,45	1,62	1,95	2,43	2,67	2,89	-
Lamina bruta (mm/mes)	103,17	101,79	108,72	94,21	70,10	46,59	44,97	50,26	58,37	75,39	80,13	89,68	923
Demanda de agua (m ³ /mes)	6 230	6 147	6 566	5 689	4 233	2 814	2 716	3 035	3 525	4 553	4 839	5 415	55 761
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	1 407	1 537	1 483	1 327	956	657	613	685	822	1 028	1 129	1 223	-

Cuadro 51: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,60

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
ETJ (mm/día)	2,34	2,56	2,47	2,21	1,59	1,09	1,02	1,14	1,37	1,71	1,88	2,03	-
Lamina neta (mm/mes)	72,54	71,57	76,45	66,24	49,29	32,76	31,62	35,34	41,04	53,01	56,34	63,05	649
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	3,12	3,41	3,29	2,94	2,12	1,46	1,36	1,52	1,82	2,28	2,50	2,71	-
Lamina bruta (mm/mes)	96,72	95,42	101,93	88,32	65,72	43,68	42,16	47,12	54,72	70,68	75,12	84,07	866
Demanda de agua (m ³ /mes)	557	550	587	509	379	252	243	271	315	407	433	484	4 986
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	126	137	133	119	85	59	55	61	74	92	101	109	-

Cuadro 52: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,50

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
ETJ (mm/día)	1,95	2,13	2,06	1,84	1,33	0,91	0,85	0,95	1,14	1,43	1,57	1,70	-
Lamina neta (mm/mes)	60,45	59,64	63,71	55,20	41,08	27,30	26,35	29,45	34,20	44,18	46,95	52,55	541
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	2,60	2,84	2,74	2,45	1,77	1,21	1,13	1,27	1,52	1,90	2,09	2,26	-
Lamina bruta (mm/mes)	80,60	79,52	84,94	73,60	54,77	36,40	35,13	39,27	45,60	58,90	62,60	70,06	721
Demanda de agua (m ³ /mes)	276	273	291	252	188	125	120	135	156	202	215	240	2 474
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	62	68	66	59	42	29	27	30	36	46	50	54	-

Cuadro 53: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,40

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
ETJ (mm/día)	1,56	1,70	1,64	1,47	1,06	0,73	0,68	0,76	0,91	1,14	1,25	1,36	-
Lamina neta (mm/mes)	48,36	47,71	50,96	44,16	32,86	21,84	21,08	23,56	27,36	35,34	37,56	42,04	433
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	2,08	2,27	2,19	1,96	1,41	0,97	0,91	1,01	1,22	1,52	1,67	1,81	-
Lamina bruta (mm/mes)	64,48	63,62	67,95	58,88	43,81	29,12	28,11	31,41	36,48	47,12	50,08	56,05	577
Demanda de agua (m ³ /mes)	67	66	70	61	45	30	29	32	38	49	52	58	596
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	15	16	16	14	10	7	7	7	9	11	12	13	-

Cuadro 54: Demanda de agua del grupo de KJ de 0,30

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Área de jardines (ha)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
ETo (mm/día)	3,9	4,26	4,11	3,68	2,65	1,82	1,7	1,9	2,28	2,85	3,13	3,39	-
KJ	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
ETJ (mm/día)	1,17	1,28	1,23	1,10	0,80	0,55	0,51	0,57	0,68	0,86	0,94	1,02	-
Lamina neta (mm/mes)	36,27	35,78	38,22	33,12	24,65	16,38	15,81	17,67	20,52	26,51	28,17	31,53	325
Eficiencia de riego	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Lamina bruta (mm/día)	1,56	1,70	1,64	1,47	1,06	0,73	0,68	0,76	0,91	1,14	1,25	1,36	-
Lamina bruta (mm/mes)	48,36	47,71	50,96	44,16	32,86	21,84	21,08	23,56	27,36	35,34	37,56	42,04	433
Demanda de agua (m ³ /mes)	103	101	108	94	70	46	45	50	58	75	80	89	919
Demanda de agua por semana (m ³ /semana)	23	25	24	22	16	11	10	11	14	17	19	20	-

Cuadro 55: Demanda total de agua en los jardines

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Demanda total de agua mensual (m ³ /mes)	16 551	16 329	17 442	15 113	11 246	7 474	7 214	8 063	9 364	12 095	12 854	14 386	148 131
Demanda total de agua por semana (m ³ /semana)	3 737	4 082	3 938	3 526	2 539	1 744	1 629	1 821	2 185	2 731	2 999	3 249	-

4.9 NUEVO BALANCE HÍDRICO DE LOS JARDINES

El balance hídrico se obtiene mediante los resultados de oferta y de la nueva demanda para las áreas de jardines de la UNALM. En el **Cuadro 56 y Cuadro 57** se presentan los balances hídricos mensual y semanal, respectivamente, para los jardines de la UNALM.

La nueva demanda anual de los jardines de la UNALM es, aproximadamente, un 85 % de la demanda actual. Cabe señalar que luego de cubrir las necesidades de los jardines con sistema de riego, el agua es usada para regar los jardines que no cuentan con este sistema y áreas agrícolas (fundo y huerto).

Cuadro 56: Nuevo balance hídrico mensual de los jardines

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
Oferta (m ³)	29 587	19 083	23 652	26 283	30 574	25 782	33 677	30 165	16 164	26 232	24 480	30 725	316 404
Demanda (m ³)	16 551	16 329	17 442	15 113	11 246	7 474	7 214	8 063	9 364	12 095	12 854	14 386	148 131
Agua para áreas verdes sin sistema de riego y áreas agrícolas (m ³)	13 037	2 754	6 210	11 170	19 328	18 307	26 463	22 102	6 801	14 137	11 626	16 339	168 273

Cuadro 57: Nuevo balance hídrico semanal de los jardines

Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
Oferta (m ³)	6 681	4 771	5 341	6 133	6 904	6 016	7 605	6 812	3 772	5 923	5 712	6 938
Demanda (m ³)	3 737	4 082	3 938	3 526	2 539	1 744	1 629	1 821	2 185	2 731	2 999	3 249
Agua para áreas verdes sin sistema de riego y áreas agrícolas (m ³)	2 944	689	1 402	2 606	4 364	4 272	5 976	4 991	1 587	3 192	2 713	3 689

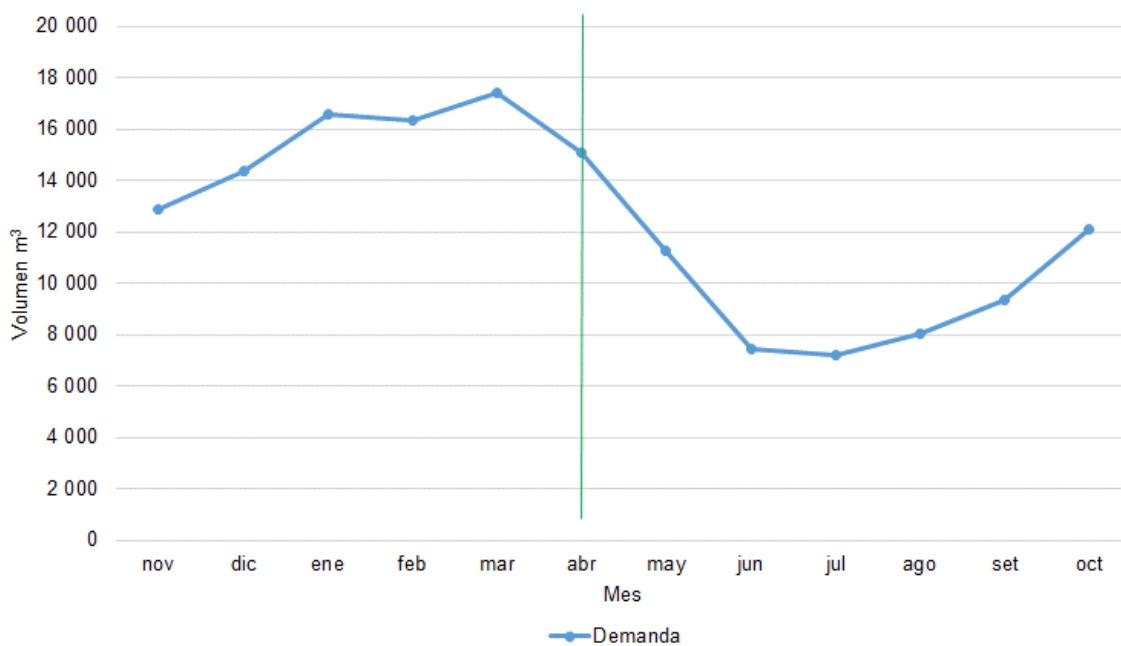
4.10 FORMULACIÓN DE LA NUEVA PROGRAMACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN

La programación de riego, la cual se expresa en el tiempo de riego por turno, se realiza con base en la demanda calculada para jardines (lámina a reponer por día) y la velocidad de aplicación promedio.

Con base en las consideraciones antes mencionadas y los resultados obtenidos, en el **Cuadro 58** se muestra la programación de riego.

La **Figura 30** muestra la demanda hídrica mensual de los jardines de la UNALM. En esta es posible diferenciar dos periodos a lo largo del año: el primero, de noviembre a abril, en el que el requerimiento hídrico es mayor; luego, de mayo a octubre, en el que el requerimiento hídrico disminuye.

Figura 30: Demanda hídrica mensual de los jardines de la UNALM



Cuadro 58: Programación de riego por mes y turno

N° Turnos	N° Estación controlador	N° Válvula campo	Tiempo de riego por día según el mes (minutos)												Caudal por turno promedio (L/s)	Caudal (L/s)
			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic		
Controlador monocable																
Rotores de 1/2" y 3/4"																
1	1	1	35	39	39	32	23	17	16	18	22	27	29	31	16,7	4,48
	2	2														6,27
	3	3														5,93
2	4	4	56	61	60	50	36	26	25	28	34	42	45	49	15,5	4,67
	5	5														4,67
	6	41														6,15
3	7	6	27	29	29	24	18	13	12	14	17	21	22	24	18,7	7,24
	8	7														5,64
	9	9														5,79
4	10	8	25	28	28	23	17	12	11	13	16	19	21	22	20,8	6,60
	11	14														6,93
	12	15														7,26
5	13	10	23	25	25	21	15	11	10	12	14	18	19	20	20,9	7,39
	14	12														6,84
	15	13														6,71
6	16	16	33	36	36	30	22	16	15	17	20	25	27	29	15,2	5,16
	17	17														4,87
	18	18														5,13
7	19	21	26	29	28	24	17	12	12	13	16	20	21	23	19,7	7,06
	20	22														6,30
	21	23														6,34
8	22	24	19	21	20	17	12	9	8	10	12	14	15	17	18,5	7,15
	23	46														9,23
	24	55														2,17
9	25	25	28	31	30	25	18	13	12	14	17	21	23	25	15,9	4,41
	26	27														6,08
	27	28														5,42
10	28	26	27	29	29	24	17	13	12	14	17	20	22	24	18,6	6,21
	29	33														5,81
	30	42														6,63
11	31	29	26	28	28	23	17	12	12	13	16	20	21	23	20,0	6,70
	32	31														7,35

N° Turnos	N° Estación controlador	N° Válvula campo	Tiempo de riego por día según el mes (minutos)												Caudal por turno promedio (L/s)	Caudal (L/s)	
			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic			
12	33	35														5,93	
	34	30														5,29	
	35	32	26	29	29	24	17	13	12	14	16	20	22	23	19,5	7,12	
	36	36														7,05	
13	37	37														7,89	
	38	39	25	27	27	22	16	12	11	13	15	19	20	22	17,5	6,32	
	39	40														3,26	
14	40	43														7,16	
	41	44	21	23	22	19	14	10	9	11	13	16	17	18	20,3	7,52	
	42	45														5,63	
15	43	47														6,32	
	44	48	27	29	29	24	17	13	12	14	16	20	22	23	22,0	4,62	
	45	49														11,05	
Rotores 1"																	
16	46	56															5,62
	47	57	28	31	30	25	18	13	13	14	17	21	23	25	17,7	6,42	
	48	70														5,62	
17	49	64	11	12	12	10	7	5	5	6	7	8	9	9	14,8	7,38	
	50	68														7,38	
18	52	65														7,38	
	53	66	21	23	23	19	14	10	9	11	13	16	17	18	22,1	7,38	
	54	67														7,38	
Rotores de 1/2" y 3/4"																	
19	55	71															4,01
	56	72	12	14	14	11	8	6	6	7	8	10	10	11	13,4	4,67	
	57	73														4,67	
Difusores de boquilla regulable																	
20	58	74															9,46
	59	75	4	5	5	4	3	2	2	3	3	4	4	4	24,9	8,04	
	60	85														7,43	
21	61	76															10,56
	62	77	5	5	5	4	3	3	2	3	3	4	4	4	27,5	6,90	
	63	80														10,01	
22	64	78															8,99
	65	79	5	5	5	4	3	3	2	3	3	4	4	4	29,5	6,37	
	66	81														14,14	

N° Turnos	N° Estación controlador	N° Válvula campo	Tiempo de riego por día según el mes (minutos)												Caudal por turno promedio (L/s)	Caudal (L/s)
			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic		
23	67	82	5	5	5	4	3	2	2	3	3	4	4	4	20,2	8,48
	68	83														5,89
	69	84														5,80
24	70	86	4	5	5	4	3	2	2	2	3	3	4	4	25,3	8,28
	71	88														8,77
	72	93														8,27
25	73	87	5	6	6	5	4	3	3	3	3	4	4	5	23,3	8,75
	74	89														6,81
	75	91														7,76
26	76	92	5	6	5	5	3	3	2	3	3	4	4	5	21,4	9,87
	77	98														5,48
	78	99														6,00
27	79	94	5	5	5	4	3	2	2	3	3	4	4	4	24,5	9,41
	80	95														7,76
	81	90														7,28
28	82	96	4	4	4	4	3	2	2	2	3	3	3	4	25,3	8,14
	83	97														7,12
	84	105														10,07
29	85	100	5	6	5	5	3	3	3	3	3	4	4	5	22,1	6,92
	86	101														6,86
	87	104														8,33
30	88	103	3	4	4	3	2	2	2	2	2	3	3	3	13,6	5,83
	89	106														7,73
Controlador convencional																
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"																
31	1	51	18	20	20	16	12	9	8	9	11	14	15	16	12,91	6,46
	2	52														6,46
32	3	50	33	36	35	29	21	15	15	17	20	25	27	29	14,69	5,96
	4	53														5,16
33	5	58	25	27	27	22	16	12	11	13	15	19	20	22	17,66	6,42
		59														5,62
	60	5,62														
34	7	61	25	27	27	22	16	12	11	13	15	19	20	22	16,86	5,62
	8	62														5,62
		63														5,62

N° Turnos	N° Estación controlador	N° Válvula campo	Tiempo de riego por día según el mes (minutos)												Caudal por turno promedio (L/s)	Caudal (L/s)
			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic		
35	9	112	11	12	11	10	7	5	5	6	7	8	9	9	14,45	6,42
	10	115														8,03
36	11	113	13	14	14	11	8	6	6	7	8	10	10	11	14,45	8,03
	12	114														6,42
37	13	116	9	10	10	8	6	5	4	5	6	7	8	8	12,91	6,46
	14	69														6,46
Tiempo total de riego (h/día)			11,33	12,43	12,27	10,18	7,37	5,45	5,10	5,93	7,00	8,67	9,27	9,98	Tiempo promedio anual (h/día)	8,75

4.11 SISTEMA DE CONSULTA SIG

El sistema de consulta SIG se generó en ArcGIS, con dos bases de datos: las especies de plantas registradas en las áreas verdes y las especies de plantas propuestas para cada una de las válvulas de riego. A continuación, se listan los atributos de ambas bases de datos:

- Tipo de planta
- Nombre científico
- Nombre común
- Diámetro de copa
- ks
- kd
- kmc
- KJ
- Número de válvula
- KJ de válvula
- Zonificación
- Tapizante
- Tipo de aspersor
- Coordenadas UTM, Zona 18: Este
- Coordenadas UTM, Zona 18: Norte

La **Figura 31**, **Figura 32** y **Figura 33** muestran los pasos a seguir para realizar búsquedas en ArcGIS utilizando la herramienta Definition query.

Figura 31: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 1

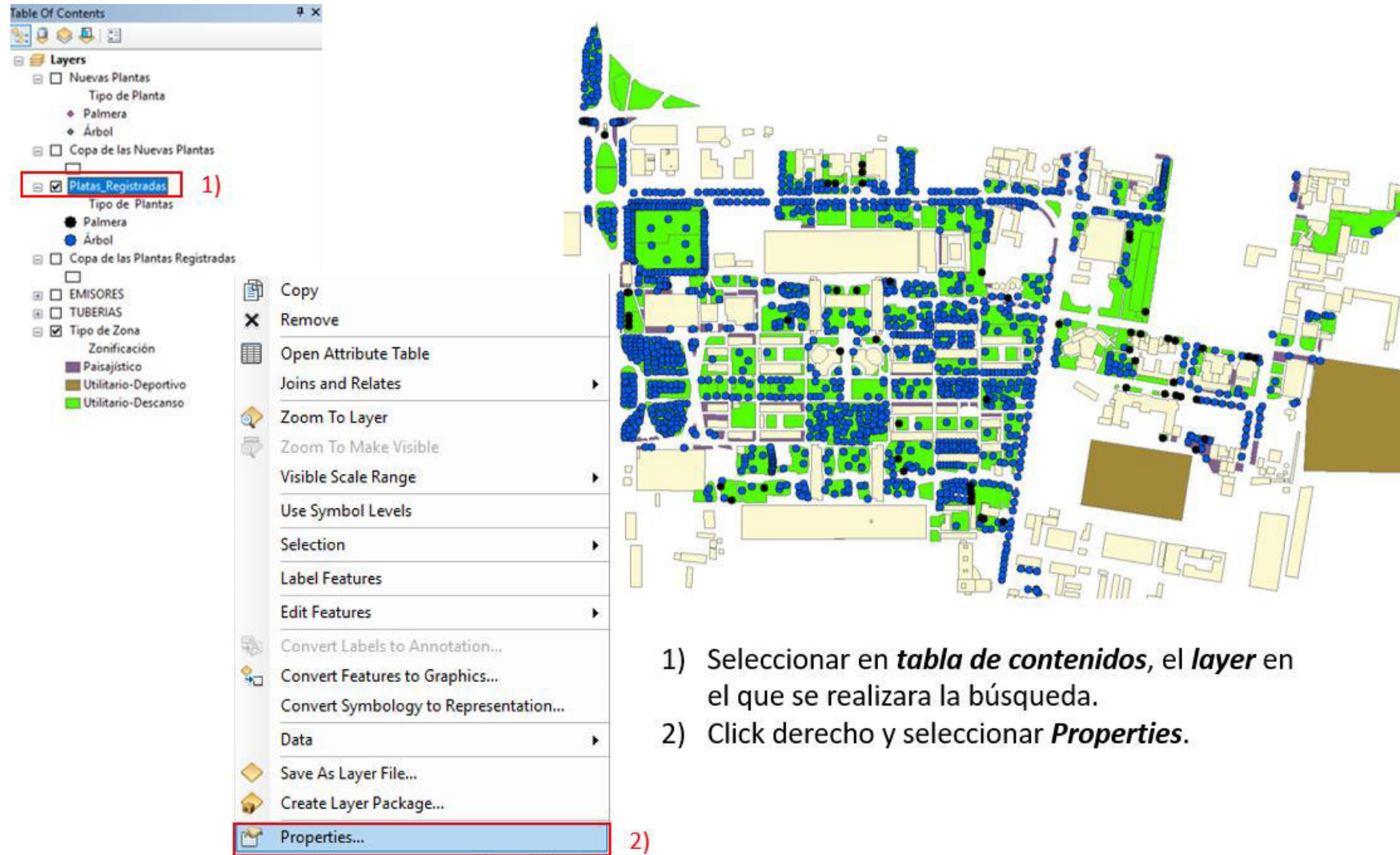
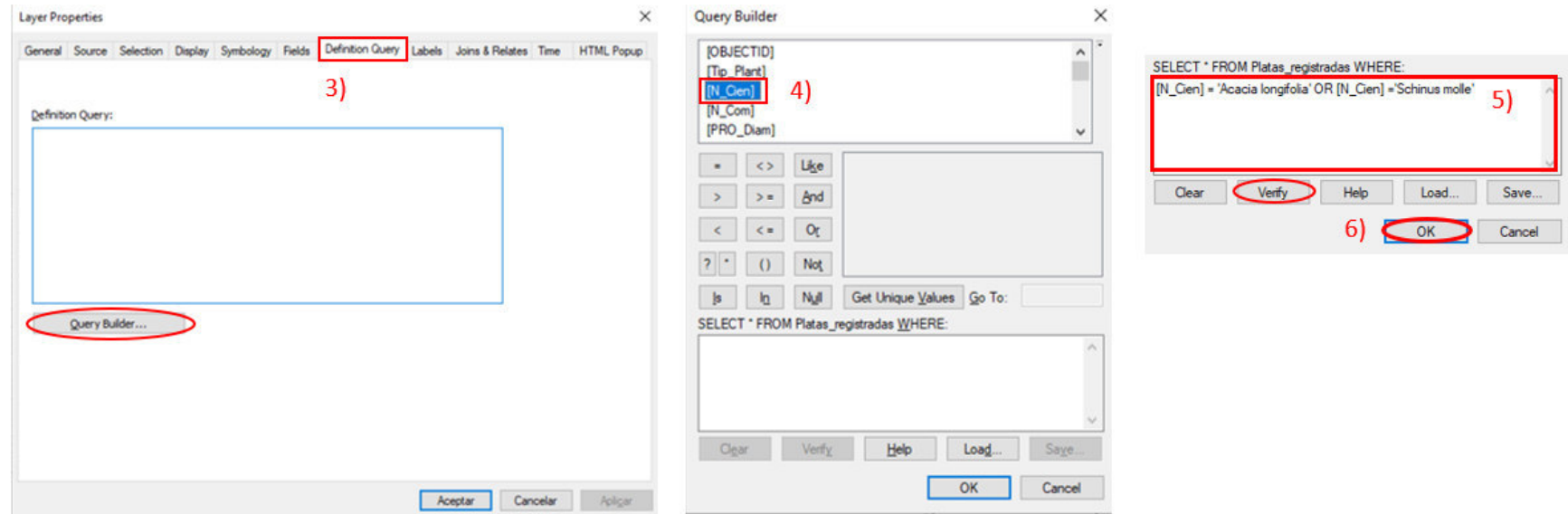
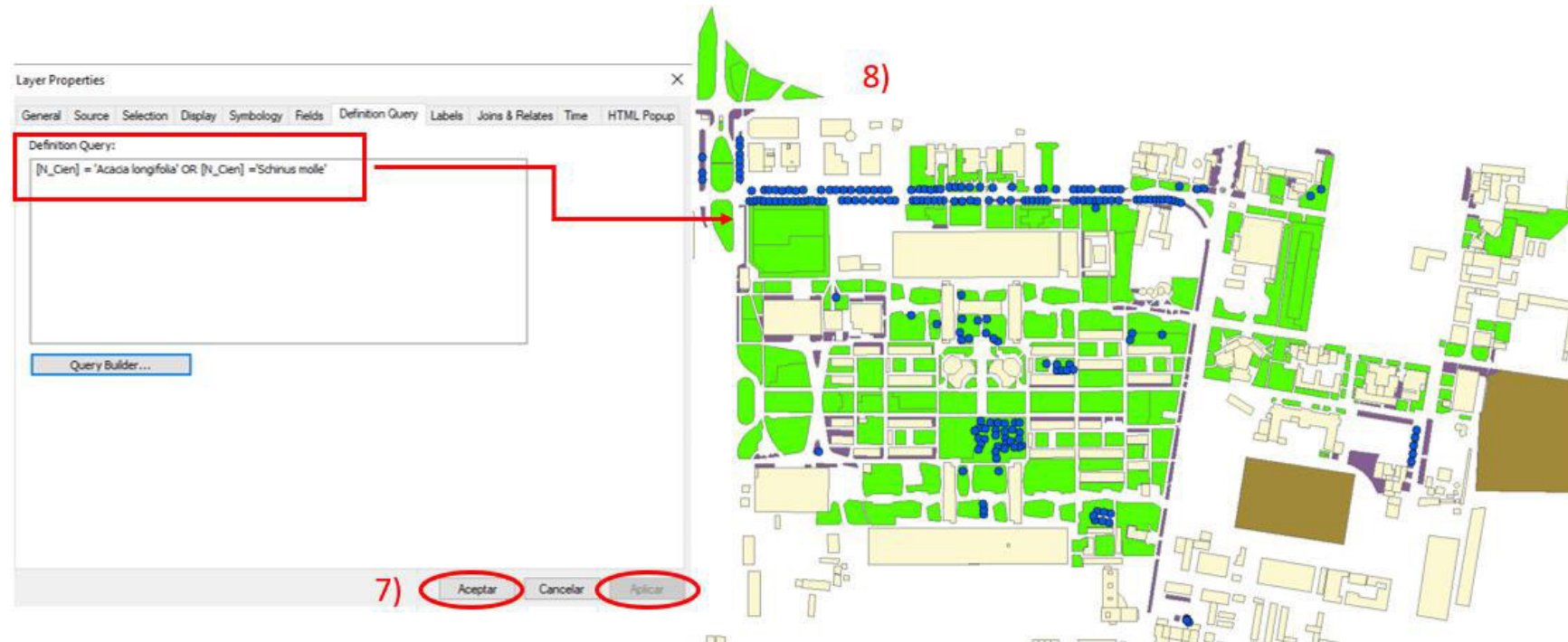


Figura 32: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 2



- 3) Seleccionar en la ventana de propiedades la pestaña **Definition Query** e ir botón **Query builder**.
- 4) Dentro del buscador se selecciona **N_Cien** el cual contiene las especies de árboles por su nombre científico.
- 5) Realizar la digitalización en la ventana **Select from**, en este ejemplo se buscan las especies *Acacia longifolia* y *Schinus molle*.
- 6) Realizar la verificación de la búsqueda y click en ok.

Figura 33: Pasos a seguir para realizar búsquedas con ArcGIS - 3



7) Click en aplicar y aceptar.

8) Finalmente se visualizan los elementos del layer encontrados en la búsqueda en la pantalla

V. CONCLUSIONES

- Se identificaron 47 especies de árboles, cuatro especies de palmeras y cuatro especies de césped en las áreas verdes que contaban con sistema de riego por aspersión en la UNALM entre junio/julio 2017.
- Haciendo uso del proceso analítico jerárquico y con base en la meta general por especie, se seleccionó lo siguiente:
 - A partir de 16 alternativas de especies de árboles, nueve especies se clasificaron como muy recomendables (VPG mayor a 6,25%) y siete como recomendables (VPG menor a 6,25%). Las especies muy recomendables han sido consideradas en el sistema de consulta en mayor cantidad que las recomendables, las cuales se han considerado principalmente para mantener el paisaje de las zonas.
 - A partir de cinco alternativas de especies de cubresuelos, dos especies se clasificaron como muy recomendables (VPG mayor a 20%) y tres como recomendables (VPG menor a 20%). Las especies muy recomendables han sido consideradas en el sistema de consulta.
 - A partir de tres alternativas de especies de césped, dos especies se agruparon como muy recomendables (VPG mayor a 33,3%) y una como recomendable (VPG menor a 33,3%). Las especies muy recomendables han sido consideradas en el sistema de consulta. La especie *Cynodon dactylon* posee características para ser plantada en zonas de alta luminosidad y con fines deportivos; y, la especie *Stenotaphrum secundatum*, posee características para ser plantada en zonas bajo sombra y con tránsito leve.
- Se zonificaron las áreas verdes de la UNALM en 28,4 % como utilitario para deporte, 63,3 % como utilitario para descanso y 8,3 % como paisajístico. Se elaboró un sistema de consulta en el que se muestra los principales atributos de las especies de plantas identificadas y propuestas.

- La nueva demanda anual de los jardines UNALM, bajo el sistema propuesto es de aproximadamente un 85 % de la demanda actual, logrando un ahorro de agua de 25 348 m³ por año. Con base en la programación de riego estimada entre noviembre y abril (meses de mayor demanda), se estiman tiempos de riego de 9,27 h/día a 12,43 h/día. Por otra parte, entre mayo y octubre (meses de menor demanda), se estiman tiempos de riego de 5,10 h/día a 8,67 h/día.

VI. RECOMENDACIONES

- Efectuar trabajos de investigación relacionados a las necesidades hídricas de las especies de césped.
- Efectuar trabajos de investigación de mezclas de especies de césped para obtener un menor requerimiento hídrico y una mayor resistencia a la sombra.
- Elaborar un inventario de especies de arbustos y actualizar el inventario de las especies de plantas para las zonas de áreas verdes sin sistema de riego de la UNALM.
- Efectuar trabajos de investigación del efecto de microclimas (áreas bajo sombra) en las especies de césped.
- Efectuar trabajos de investigación sobre el porcentaje de sombra y salud del follaje de las copas de árboles con ayuda de drones.
- Efectuar trabajo de investigación para identificar las características del suelo en los jardines de la UNALM.
- Elaborar un análisis de costos de mantenimiento de las áreas verdes e implementarlo en el proceso analítico jerárquico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRA PERU (Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales Perú). 2009. Manual de Operación y Mantenimiento. Lima, PE, Lehmann. p. 12-3.
- Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.
- Asgarzadeh, M; Vahdati, K; Lotfi, M; Arab, M; Babaei, A; Naderi, F. et al. 2014. Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban forestry and urban greening* 13, 450-458.
- Ayanz, A.S, 2008. Gramíneas de interés para la implementación de zonas degradadas. *Ecología y pautas básicas de utilización*. Departamento de Silvopascicultura Universidad Politécnica de Madrid E.T.S Ingenieros Montes.
- Brescia de Fort, R. 2015. Paisajes verdes con poca agua. *Jardines para lima y ciudades de regiones secas*. Editorial Floralties, Club de jardines del Perú.
- Brown, P. W., Mancino, C. F., Young, M. H., Thompson, T. L., Wierenga, P. J., & Kopec, D. M. (2001). Penman Monteith Crop Coefficients for Use with Desert Turf Systems. *Crop Science*, 41(4), 1197. doi:10.2135/cropsci2001.4141197x
- Burés, S. 1993. *Xerojardineria*. Ediciones de Horticultura. España.
- CAP (Consejería de Agricultura y Pesca, ES). 2004. *Manual de riego de jardines*. Andalucía.
- Castañon, G. 2000 *Ingeniería de Riego. Utilización Racional del Agua*. 1 ed. Madrid, ES. Paraninfo. 216 p.
- Costello L.R. & Jones K.S., 2014. *Water Use Classification Of Landscape Species (WUCOLS IV)*. University of California Cooperative Extension. Ed. California Dept. of Water Resources.
- Decreto Supremo N° 004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias. Publicado el 07 de junio de 2017.

- Ehleringer J.R. & Cerling T.E., 2002. C₃ and C₄ Photosynthesis. Volumen 2, The Earth system: biological and ecological dimensions of global environmental change. University of Utah, Salt Lake City, UT, USA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) 2009. ¿Qué es un SIG? (en línea). Madrid, ES. Consultado 10 de junio de 2018. Disponible en <http://www.esri.es/es/formacion/-esri-espana/que-es-un-sig/>
- FAO 56 Table 12. Chapter.6. Consultado 10 de diciembre de 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0b.htm>
- Frietze, V., Gioannini, R., Al-Ajlouni, M., VanLeeuwen, D., & Hilaire, R. 2018. Contrasting Urban Landscapes and Reduced Irrigation Engender Water Conservation in a Desert Environment. *Sustainability*, 10(3), 624.
- IMIDA (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, ES). 2006. Guía para la programación del riego en jardines de La Región de Murcia
- Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, ES. 2010. Manual de Riego para Agricultores Modulo 3: Riego por Aspersión. Sevilla.
- Jia, X., Dukes, M.D., Jacobs, J.M., 2009. Bahiagrass crop coefficients from eddy correlation measurements in central Florida. *Irrig. Sci.* 28, 5–15.
- Oliveira Prendes, J.A. & Bughrara, S.S., 2009. Especies cespitosas para la España verde. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/J_Oliveira3/publication/296485663_Especies_espitosas_para_la_Espana_verde/links/56d5ded108aee1aa5f730cc9/Especies-cespitosas-para-la-Espana-verde.pdf.
- Litvak, E., & Pataki, D. E. (2016). Evapotranspiration of urban lawns in a semi-arid environment: An in-situ evaluation of microclimatic conditions and watering recommendations. *Journal of Arid Environments*, 134, 87–96.
- Litvak, E., Manago, K. F., Hogue, T. S., & Pataki, D. E. 2017. Evapotranspiration of urban landscapes in Los Angeles, California at the municipal scale. *Water Resources Research*, 53(5), 4236–4252.

- Llique Gallardo, R. 2017. Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE. UNALM.
- Martín, R; Yruela, M; Plaza, R; Navas, A. y Fernández, R. (sf), Manual de riego de jardines. Ministerio de Agricultura y Pesca. Ed. Junta de Andalucía.
- Meza Capcha, K. 2014. Planeamiento, diseño y evaluación técnico económico del sistema de riego del programa de frutales-fundo en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE. UNALM.
- Miliaccio K.W. & Barclay Shoemaker W. 2013. Estimation of urban subtropical bahiagrass (*Paspalum notatum*) evapotranspiration using crop coefficients and the eddy covariance method. FL, USA.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2013. Atlas evapotranspiración referencial. Lima, PE.
- Monje J, R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. (en línea). 2 ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/39543/MANEJO%20DE%20CESP EDES.pdf?sequence=1](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/39543/MANEJO%20DE%20CESP%20EDES.pdf?sequence=1). p. 12-61.
- Morcillo, Jesús (1989). Temas básicos de química (2ª edición). Alhambra Universidad. España.
- Morote Seguido A.F. & Hernández M.H. 2016. El uso y consumo de agua en los jardines de las viviendas del litoral de Alicante (España). Cuadernos de Geografía. 98:29-44. Valencia.
- Nouri, H; Beecham, S; Hassanli, A. et al. 2013. Water requirements of urban landscape plants; A comparison of three factor-based approaches. *Ecological Engineering* 57, 276-284.
- Orejuela, J; Osorio, J. 2008. El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia Et Technica*, Septiembre, 247-252.

- Pérez Urrestarazu, L., Egea, G., Ruiz Alcalá, C., Roldán Olmo, F., & Fernández Cañero, R. 2018. Water management assessment in a historic garden: the case study of the Real Alcazar (Seville, Spain). *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 192–199.
- Pizarro Cabello. 1996. *Riego Localizado de Alta Frecuencia 3º Edición*. Editorial Mundi Prensa. Madrid.
- Raind Bird. 2015. *Productos de riego paisajístico-Catálogo 2015*. 188.
- Rawn, J.D. 2015, *La fotosíntesis. Bioquímica*. Madrid. Interamericana de España y McGraw-Hill.
- Razuri, R. 1988, *Diseño de riego por goteo*. Ed. 1ra. Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas y tierra. 167p.
- Saaty, Thomas. 2001. *The seven pillars of the analytic hierarchy process*. University of Pittsburgh, USA.
- Sage R.F. 2014. *Photosynthetic efficiency and carbon concentration in terrestrial plants: the C₄ and CAM solutions*. University of Toronto, USA.
- Sánchez, M; Jarre, E. 2012. *Diseño de un parque dotado de un sistema por microaspersión en los predios de la Universidad técnica de Manabí*. Ecuador.
- Sandy, T. 2016. *Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque “Los bomberos” en el distrito de Cieneguilla-Lima*. Lima, PE. UNALM.
- Semillas Fitó S.A., 2009. *Áreas verdes – Guía técnica de cultivo*. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en <http://static.plenummedia.com/40767/files/20100714002235-guia-tecnica-de-cultivo-en-cespedes.pdf>.
- Shojaei, P., Gheysari, M., Nouri, H., Myers, B., & Esmaeili, H. 2018. Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. *Ecological Engineering*, 123, 43–53. Iran.
- Sorensen, M; Barzetti, V; Keipi, K; Williams, J. 1998. *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Washington, D.C, s.e. p. 7-20.

- Trenholm, L., Cisar, J.L., Unruh, J.B., 2011a. Bahiagrass for Florida Lawns. UF IFAS Extension Publication ENH6.
- UB (Universitat de Barcelona, ES). 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Eds. J Azcón-Bieto, M. Talón. Madrid. McGraw-Hill/Interamericana.
- Vargas, C. 1998. El sistema de información geográfica en la evaluación y planificación del bosque tropical. En la información y sus aplicaciones en la forestería Documento de campo FAO-MRTAL no. 13: 35-48.
- Water Use Classification Of Landscape Species. 2000 (WUCOLS). A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The landscape coefficient method & WUCOLS III. University of California Cooperative Extension. Ed. California Dept. of Water Resources. California.
- Wherley, B., 2011. Turfgrass growth, quality, and reflective heat load in response to deficit irrigation practices. In: Labeledzki, L. (Ed.), Evapotranspiration [Internet]. InTech, Manhattan, NY, <http://dx.doi.org/10.5772/15064>, Available from: <http://www.intechopen.com/books/evapotranspiration/turfgrass-growthquality-and-reflective-heat-load-in-response-to-deficit-irrigation-practices>.
- Wherley, B & Dukes, Michael & Cathey, S & Miller, Grady & Sinclair, T. 2015. Consumptive water use and crop coefficients for warm-season turfgrass species in the Southeastern United States. Agricultural Water Management. 156. 10-18. 10.1016/j.agwat.2015.03.020.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Variables meteorológicas para el periodo 2001-2015, obtenido de la estación meteorológica Von Humboldt y procesamiento en CROPWAT 8.0

A continuación, se muestra los promedios mensuales de las variables meteorológicas usadas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia. Además, se muestra una captura de pantalla del resultado del procesamiento de la información en CROPWAT 8.0.

VARIABLES METEOROLÓGICAS MENSUAL

Cuadro 1: Temperatura máxima promedio mensual (°C)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	27,6	29,3	30,1	27,4	22,8	18,6	18,2	18,8	19,7	21,0	22,8	24,9
2002	27,0	29,1	26,8	26,8	24,7	19,6	17,2	17,6	19,8	22,0	22,7	25,0
2003	26,8	29,3	28,8	26,2	23,3	20,5	19,8	19,3	19,7	22,1	23,9	25,1
2004	27,7	29,1	28,9	27,0	23,3	18,8	19,3	19,2	20,3	22,0	22,8	25,6
2005	27,9	28,3	28,3	27,0	22,1	18,8	18,6	19,5	18,2	20,4	22,4	24,7
2006	27,9	29,4	28,9	26,8	24,0	20,6	20,2	19,6	20,7	22,0	23,1	24,4
2007	27,7	28,8	28,0	26,8	23,5	19,5	17,3	16,9	17,9	19,9	22,1	24,1
2008	27,7	29,3	29,1	27,7	21,8	19,9	20,8	18,8	20,4	20,5	23,0	25,6
2009	27,8	28,9	28,6	27,7	24,1	19,9	19,5	19,4	19,5	21,3	23,0	23,7
2010 - 2015	27,4	27,3	26,9	25,7	23,2	21,0	19,0	18,3	19,6	20,2	21,3	23,9

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

Cuadro 2: Temperatura mínima promedio mensual (°C)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	19,0	20,6	19,5	18,3	15,5	13,9	13,4	13,4	12,1	14,1	16,5	16,5
2002	18,2	20,0	20,7	18,7	16,0	13,8	13,7	13,5	13,8	14,8	16,0	17,1
2003	19,6	20,7	19,4	16,6	15,5	13,4	14,0	13,4	13,8	14,6	15,8	17,7
2004	19,2	20,0	19,4	17,1	13,8	13,3	13,4	13,0	14,3	14,4	16,2	17,8
2005	19,7	19,6	18,8	17,5	14,7	13,3	13,8	13,0	13,1	13,4	14,3	17,5
2006	19,2	20,6	19,8	17,0	13,4	14,0	15,3	15,0	14,4	15,2	15,9	17,7
2007	19,9	19,7	19,7	17,2	13,8	12,5	13,0	12,5	12,5	12,8	14,0	16,1
2008	19,6	19,9	19,5	17,3	14,0	14,6	14,9	14,8	14,5	14,6	16,1	17,3
2009	19,1	20,5	20,1	18,0	15,7	14,7	15,6	14,0	14,2	14,7	15,8	17,7
2010 - 2015	18,6	18,4	18,3	16,4	16,6	15,5	14,7	13,4	13,6	14,1	15,3	17,0

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

Cuadro 3: Humedad relativa promedio mensual (%)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	81	76	70	83	88	92	94	91	85	89	90	83
2002	78	77	73	82	85	88	92	93	89	85	85	83
2003	84	80	80	81	86	86	89	89	89	84	82	85
2004	77	76	74	81	83	91	88	89	87	85	85	81
2005	78	77	75	80	85	91	88	88	89	89	82	82
2006	77	78	74	74	77	82	85	87	88	85	83	84
2007	79	75	79	79	79	82	88	91	90	88	87	82
2008	80	71	74	74	74	84	88	80	90	85	87	82
2009	76	69	71	68	80	85	88	87	87	87	82	83
2010 - 2015	74	74	76	77	79	82	86	86	84	81	80	77

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

Cuadro 4: Velocidad del viento promedio mensual (m/s)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,0	0,9	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3
2002	1,3	1,1	1,2	1,1	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	0,0	0,0	0,9
2003	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,8	1,9	1,9	1,6	1,8	2,3	1,9
2004	2,1	1,9	2,6	1,5	1,2	1,0	1,3	1,4	1,3	1,6	1,5	1,8
2005	2,5	1,9	1,2	1,9	1,0	1,0	1,1	1,4	1,1	1,8	1,3	1,8
2006	1,4	2,0	1,2	1,6	0,8	0,8	0,9	1,3	1,1	1,7	1,2	1,1
2007	1,3	1,9	1,1	1,6	1,3	1,2	0,9	1,0	1,2	1,6	1,6	1,7
2008	1,6	1,0	1,5	1,4	1,0	0,5	0,9	0,4	1,0	0,7	1,1	0,8
2009	1,1	1,0	0,9	0,6	0,7	0,3	0,5	0,4	1,0	1,2	1,5	1,1
2010 - 2015	3,0	2,8	2,6	2,6	2,6	2,4	2,3	2,4	2,5	3,0	3,0	2,9

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

Cuadro 5: Horas diarias promedio de sol (horas)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	156	167	230	234	115	23	29	61	95	161	230	197
2002	209	149	207	148	125	55	6	22	82	111	118	140
2003	124	179	225	253	173	119	87	82	91	169	182	141
2004	219	171	241	240	215	52	94	103	106	158	133	189
2005	204	199	220	255	167	52	78	135	67	172	180	151
2006	209	191	234	237	254	88	49	54	101	126	113	92
2007	144	183	206	214	192	94	40	42	58	148	183	163
2008	130	149	197	252	93	20	92	28	104	107	122	187
2009	168	140	141	236	204	43	32	79	67	141	111	87
2010 - 2015	158	196	195	198	133	69	56	59	81	127	138	164

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

Cuadro 6: Precipitación acumulada mensual (mm/mes)

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2001	0,4	0,6	0,1	2,0	0,8	2,4	1,4	0,8	0,9	0,0	0,4	0,4
2002	0,0	6,8	0,1	3,0	0,0	2,0	2,0	5,6	1,9	1,5	0,4	0,0
2003	0,3	0,0	0,1	0,3	0,9	0,7	3,0	3,7	2,5	0,0	0,2	2,1
2004	0,0	0,4	0,3	0,0	0,5	3,8	1,3	1,5	0,8	1,0	0,3	0,0
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,6	2,2	0,3	2,1	0,3	0,3	0,1
2006	0,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,3	1,5	2,2	1,8	1,7	0,4	2,6
2007	0,4	0,6	0,0	0,3	0,2	0,3	3,1	2,8	4,6	0,8	0,3	0,0
2008	0,0	0,4	0,9	0,0	0,6	2,6	0,0	2,1	0,6	0,3	0,8	0,0
2009	0,0	2,6	0,9	0,0	0,4	3,6	2,8	4,0	2,4	0,6	1,3	2,9
2010 - 2015	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0

Nota: La información del periodo 2010 a 2015 se ha considerado de la tesis "Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla-Lima" (Sandy, T. 2016).

CROPWAT 8.0

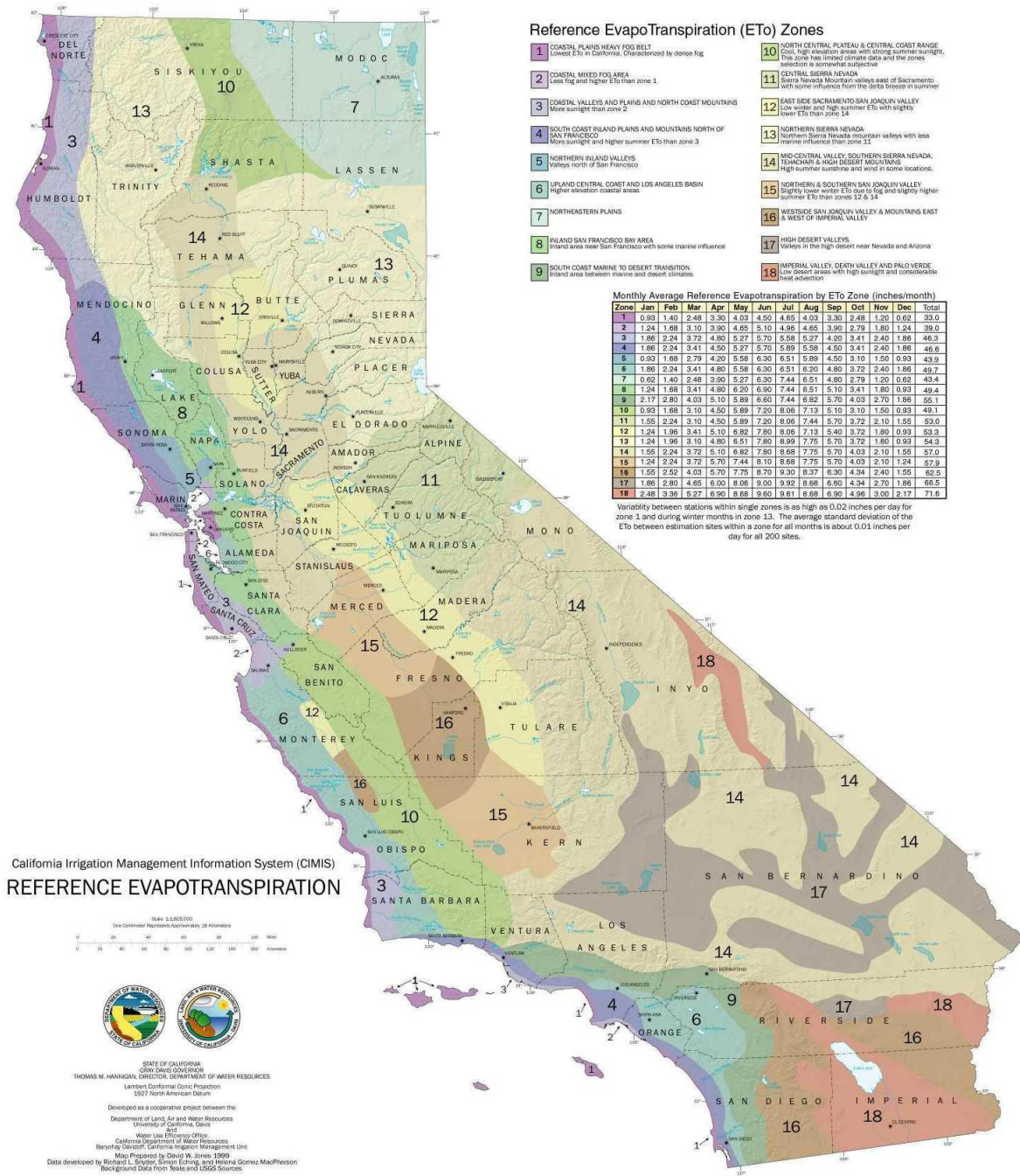
Monthly ET0 Penman-Monteith - untitled

Country: PERU Station: ALEXANDER VON HUMBOL

Altitude: 244 m. Latitude: 12.05 °S Longitude: 75.95 °W

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ET0 mm/day
January	19.0	27.5	77	148	5.4	18.6	3.90
February	19.4	28.3	75	141	6.4	20.1	4.26
March	19.1	27.9	75	133	6.6	19.6	4.11
April	17.1	26.5	78	131	7.2	18.9	3.68
May	15.5	23.3	81	117	5.0	14.1	2.65
June	14.4	20.1	85	106	2.1	9.7	1.82
July	14.3	19.0	88	106	1.8	9.6	1.70
August	13.5	18.6	87	112	2.1	11.0	1.90
September	13.6	19.6	86	120	2.8	13.2	2.28
October	14.2	20.8	84	138	4.4	16.6	2.85
November	15.2	22.2	83	140	4.9	17.7	3.13
December	17.2	24.4	81	140	5.0	17.9	3.39
Average	16.0	23.2	82	128	4.5	15.6	2.97

Anexo 2: Mapa de Evapotranspiración de referencia del estado de California



Fuente: CIMIS (1999)

Anexo 3: Registro fotográfico de las especies de árboles y palmeras identificadas en la UNALM

Acacia blanca (Acacia aroma)



Mimosa (Acacia longifolia)



Cedro rosado (Acrocarpus fraxinifolius)



Albizia (Albizia lebbek)



Nuez de la india (*Aleurites moluccanus*)



Chirimoya (*Annona cherimola*)



Guanábana (*Annona muricata*)



Pino de navidad (*Araucaria excelsa*)



Pata de vaca (*Bauhinia forficata*)



Charan (*Caesalpinia paipai*)



Pecana (*Carya illinoensis*)



Lluvia de oro (*Cassia fistula*)



Casuarina (*Casuarina cunninghamiana*)



Cedro (*Cedrela odorata*)



Ceiba (*Chorisia speciosa*)



Ciprés (*Cupressus macrocarpa*)



Ciprés vela (*Cupressus sempervirens*)



Poinciana real (*Delonix regia*)



Cresta de gallo (*Erythrina crista galli*)



Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*)



Flor de navidad (*Euphorbia pulcherrima*)



Ficus (*Ficus benjamina*)



Higo (*Ficus carica*)



Grevillea (*Grevillea robusta*)



Pacay (*Inga feuillei*)



Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*)



Papelillo (*Koelreuteria paniculata*)



Árbol de júpiter (*Lagerstroemia speciosa*)



Mango (*Mangifera indica*)



Meliá (*Melia azedarach*)



Mora (*Morus alba*)



Olivo (*Olea europaea*)



Azote de cristo (*Parkinsonia aculeata*)



Palto (*Persea americana*)



Pino carrasco (*Pinus halepensis*)



Podocarpus (*Podocarpus spp*)



Lúcuma (*Pouteria lúcuma*)



Huarango (*Prosopis pallida*)



Cerezo japonés (*Prunus serrulata*)



Schefflera (*Schefflera actinophylla*)



Molle serrano (*Schinus molle*)



Molle hawaiano (*Schinus Terebinthifolius*)



Danto amarillo (*Sideroxylon capiri*)



Tulipán africano (*Spathodea campanulata*)



Caoba del Perú (*Swietenia macrophylla*)



Huaranhuay (*Tecoma stans*)



Tipa (*Tipuana tipu*)



Hawaiana (*Chrysalidocarpus lutescens*)



Palmera fénix (*Phoenix canariensis*)



Palmera real (*Roystonea regia*)



Palmera abanico (*Washingtonia robusta*)



Anexo 4: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de árboles.

Determinación de la matriz comparación de criterios:

- Matriz comparación por pares

	Riego	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Tipo de copa
Riego	1,00	2,00	4,00	2,00
Tolerancia a la sequía	0,50	1,00	3,00	1,00
Mantenimiento	0,25	0,33	1,00	0,33
Tipo de copa	0,50	1,00	3,00	1,00

- Matriz comparación normalizada

	Riego	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Tipo de copa
Riego	0,44	0,46	0,36	0,46
Tolerancia a la sequía	0,22	0,23	0,27	0,23
Mantenimiento	0,11	0,08	0,09	0,08
Tipo de copa	0,22	0,23	0,27	0,23

- Vector prioridad

	Vector prioridad
Riego	0,43
Tolerancia a la sequía	0,24
Mantenimiento	0,09
Tipo de copa	0,24
Total	1,00

- Consistencia del criterio

Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Riego	1,75	4,03	4,02	0,01	0,69%
TL	0,96	4,02			
Mantenimiento	0,36	4,01			
Tipo de copa	0,96	4,02			

Anexo 5: AHP para especies de árboles

Determinación de la matriz comparación por pares, matriz comparación normalizada y el vector prioridad para cada criterio.

- Matriz comparación por pares:

Criterio de Requerimiento hídrico																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Casuarina	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Ceibo	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Poinciana real	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,33	0,33
Eucalipto	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,33	0,33
Grevilea	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Jacaranda	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
Papelillo	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
Melia	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Olivo	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Azote de cristo	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Huarango	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Molle Serrano	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Molle hawaiano	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
Huaranhuay	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Tipa	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00

Criterio de Tolerancia a la sequía																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristal	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Casuarina	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Ceibo	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Poinciana real	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Eucalipto	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Grevilea	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	0,33
Jacaranda	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Papelillo	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	0,33
Melia	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Olivo	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Azote de cristal	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Huarango	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00
Molle Serrano	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Molle hawaiano	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	0,50
Huaranhuay	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	0,33
Tipa	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	3,00	1,00

Criterio de Mantenimiento																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Casuarina	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Ceibo	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Poinciana real	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Eucalipto	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Grevilea	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Jacaranda	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Papelillo	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Melia	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Olivo	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Azote de cristo	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Huarango	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Molle Serrano	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Molle hawaiano	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Huaranhuay	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00
Tipa	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00

Criterio de Tipo de copa																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Casuarina	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50
Ceibo	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Poinciana real	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Eucalipto	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50
Grevilea	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50
Jacaranda	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Papelillo	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Melia	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Olivo	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Azote de cristo	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Huarango	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00
Molle Serrano	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Molle hawaiano	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Huaranhuay	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Tipa	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00

- Matriz comparación normalizada

Criterio de Requerimiento hídrico																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Casuarina	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Ceibo	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Poinciana real	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
Eucalipto	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
Grevilea	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Jacaranda	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Papelillo	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Melia	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Olivo	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Azote de cristo	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Huarango	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Molle Serrano	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Molle hawaiano	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Huaranhuay	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Tipa	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Criterio de Tolerancia a la sequía																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Casuarina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Ceibo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Poinciana real	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Eucalipto	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Grevilea	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Jacaranda	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Papelillo	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Melia	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Olivo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Azote de cristo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Huarango	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Molle Serrano	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Molle hawaiano	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Huaranhuay	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Tipa	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10

Criterio de Mantenimiento																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristo	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Casuarina	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Ceibo	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Poinciana real	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Eucalipto	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Grevilea	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Jacaranda	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Papelillo	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Melia	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Olivo	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Azote de cristo	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Huarango	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Molle Serrano	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Molle hawaiano	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Huaranhuay	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Tipa	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Criterio de Tipo de copa																
	Mimosa	Casuarina	Ceibo	Poinciana real	Eucalipto	Grevilea	Jacaranda	Papelillo	Melia	Olivo	Azote de cristal	Huarango	Molle Serrano	Molle hawaiano	Huaranhuay	Tipa
Mimosa	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Casuarina	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Ceibo	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Poinciana real	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Eucalipto	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Grevilea	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Jacaranda	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Papelillo	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Melia	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Olivo	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Azote de cristal	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Huarango	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Molle Serrano	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Molle hawaiano	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Huaranhuay	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Tipa	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

- Vector prioridad

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Tipo de copa
Mimosa	7,58%	4,99%	9,38%	9,45%
Casuarina	7,58%	4,99%	9,38%	2,79%
Ceibo	7,58%	9,45%	3,13%	4,99%
Poinciana real	2,41%	9,45%	3,13%	4,99%
Eucalipto	2,41%	4,99%	9,38%	2,79%
Grevilea	7,58%	2,79%	9,38%	2,79%
Jacaranda	3,94%	9,45%	3,13%	4,99%
Papelillo	3,94%	2,79%	3,13%	4,99%
Melia	7,58%	9,45%	3,13%	4,99%
Olivo	7,58%	4,99%	9,38%	9,45%
Azote de cristo	7,58%	4,99%	9,38%	9,45%
Huarango	7,58%	9,45%	3,13%	4,99%
Molle Serrano	7,58%	4,99%	9,38%	9,45%
Molle hawaiano	3,94%	4,99%	9,38%	9,45%
Huaranhuay	7,58%	2,79%	3,13%	9,45%
Tipa	7,58%	9,45%	3,13%	4,99%

- Consistencia de alternativas para cada criterio

Criterio de Requerimiento hídrico					
Crterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Mimosa	1,21	16,03	16,02	0,001	0,08%
Casuarina	1,21	16,03			
Ceibo	1,21	16,03			
Poinciana real	0,39	16,01			
Eucalipto	0,39	16,01			
Grevilea	1,21	16,03			
Jacaranda	0,63	16,02			
Papelillo	0,63	16,02			
Melia	1,21	16,03			
Olivo	1,21	16,03			
Azote de cristo	1,21	16,03			
Huarango	1,21	16,03			
Molle Serrano	1,21	16,03			
Molle hawaiano	0,63	16,02			
Huaranhuay	1,21	16,03			
Tipa	1,21	16,03			

Criterio de Tolerancia a la sequía					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Mimosa	0,80	16,04	16,04	0,003	0,16%
Casuarina	0,80	16,04			
Ceibo	1,52	16,06			
Poinciana real	1,52	16,06			
Eucalipto	0,80	16,04			
Grevilea	0,45	16,02			
Jacaranda	1,52	16,06			
Papelillo	0,45	16,02			
Melia	1,52	16,06			
Olivo	0,80	16,04			
Azote de cristo	0,80	16,04			
Huarango	1,52	16,06			
Molle Serrano	0,80	16,04			
Molle hawaiano	0,80	16,04			
Huaranhuay	0,45	16,02			
Tipa	1,52	16,06			

Criterio de Mantenimiento					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Mimosa	1,50	16,00	16,00	0,000	0,00%
Casuarina	1,50	16,00			
Ceibo	0,50	16,00			
Poinciana real	0,50	16,00			
Eucalipto	1,50	16,00			
Grevilea	1,50	16,00			
Jacaranda	0,50	16,00			
Papelillo	0,50	16,00			
Melia	0,50	16,00			
Olivo	1,50	16,00			
Azote de cristo	1,50	16,00			
Huarango	0,50	16,00			
Molle Serrano	1,50	16,00			
Molle hawaiano	1,50	16,00			
Huaranhuay	0,50	16,00			
Tipa	0,50	16,00			

Criterio de Tipo de copa					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Mimosa	1,52	16,06	16,04	0,003	0,16%
Casuarina	0,45	16,02			
Ceibo	0,80	16,04			
Poinciana real	0,80	16,04			
Eucalipto	0,45	16,02			
Grevilea	0,45	16,02			
Jacaranda	0,80	16,04			
Papelillo	0,80	16,04			
Melia	0,80	16,04			
Olivo	1,52	16,06			
Azote de cristo	1,52	16,06			
Huarango	0,80	16,04			
Molle Serrano	1,52	16,06			
Molle hawaiano	1,52	16,06			
Huaranhuay	1,52	16,06			
Tipa	0,80	16,04			

- Vector prioridad global

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Tipo de copa	Vector Prioridad Global
Mimosa	3,28%	1,19%	0,83%	2,26%	7,57%
Casuarina	3,28%	1,19%	0,83%	0,67%	5,98%
Ceibo	3,28%	2,26%	0,28%	1,19%	7,01%
Poinciana real	1,04%	2,26%	0,28%	1,19%	4,77%
Eucalipto	1,04%	1,19%	0,83%	0,67%	3,74%
Grevilea	3,28%	0,67%	0,83%	0,67%	5,45%
Jacaranda	1,71%	2,26%	0,28%	1,19%	5,44%
Papelillo	1,71%	0,67%	0,28%	1,19%	3,85%
Melia	3,28%	2,26%	0,28%	1,19%	7,01%
Olivo	3,28%	1,19%	0,83%	2,26%	7,57%
Azote de cristo	3,28%	1,19%	0,83%	2,26%	7,57%
Huarango	3,28%	2,26%	0,28%	1,19%	7,01%
Molle Serrano	3,28%	1,19%	0,83%	2,26%	7,57%
Molle hawaiano	1,71%	1,19%	0,83%	2,26%	5,99%
Huaranhuay	3,28%	0,67%	0,28%	2,26%	6,48%
Tipa	3,28%	2,26%	0,28%	1,19%	7,01%

Anexo 6: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de cubresuelos.

Determinación de la matriz comparación de criterios:

- Matriz comparación por pares

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento
Requerimiento hídrico	1,00	2,00	3,00
Tolerancia a la sequía	0,50	1,00	2,00
Mantenimiento	0,33	0,50	1,00

- Matriz comparación normalizada

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento
Requerimiento hídrico	0,55	0,57	0,50
Tolerancia a la sequía	0,27	0,29	0,33
Mantenimiento	0,18	0,14	0,17

- Vector prioridad

	Vector prioridad
Requerimiento hídrico	0,54
Tolerancia a la sequía	0,30
Mantenimiento	0,16
Total	1,00

- Consistencia del criterio

Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Requerimiento hídrico	1,62	3,01	3,01	0,005	0,70%
Tolerancia a la sequía	0,89	3,01			
Mantenimiento	0,49	3,00			

Anexo 7: AHP para especies de cubresuelos

Determinación de la matriz comparación por pares, matriz comparación normalizada y el vector prioridad para cada criterio.

- Matriz comparación por pares:

Criterio de Requerimiento hídrico					
	Planta del rocío	Clavel chino	Gazania	Lantana rastrera	Festuca
Planta del rocío	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00
Clavel chino	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00
Gazania	0,33	0,33	1,00	1,00	0,50
Lantana rastrera	0,33	0,33	1,00	1,00	0,50
Festuca	0,50	0,50	2,00	2,00	1,00
Criterio de Tolerancia a la sequía					
Planta del rocío	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00
Clavel chino	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00
Gazania	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
Lantana rastrera	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
Festuca	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
Criterio de Mantenimiento					
Planta del rocío	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00
Clavel chino	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00
Gazania	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
Lantana rastrera	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
Festuca	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00

- Matriz comparación normalizada

Criterio de Requerimiento hídrico					
	Planta del rocío	Clavel chino	Gazania	Lantana rastrera	Festuca
Planta del rocío	0,32	0,32	0,30	0,30	0,33
Clavel chino	0,32	0,32	0,30	0,30	0,33
Gazania	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08
Lantana rastrera	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08
Festuca	0,16	0,16	0,20	0,20	0,17
Criterio de Tolerancia a la sequía					
Planta del rocío	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Clavel chino	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Gazania	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Lantana rastrera	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Festuca	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Criterio de Mantenimiento					
Planta del rocío	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Clavel chino	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Gazania	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Lantana rastrera	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Festuca	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

- Vector prioridad

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento
Planta del rocío	0,31	0,33	0,29
Clavel chino	0,31	0,33	0,29
Gazania	0,10	0,11	0,14
Lantana rastrera	0,10	0,11	0,14
Festuca	0,18	0,11	0,14

- Consistencia de alternativas para cada criterio

Criterio de Requerimiento hídrico					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Planta del rocío	1,57	5,02	5,01	0,003	0,28%
Clavel chino	1,57	5,02			
Gazania	0,49	5,01			
Lantana rastrera	0,49	5,01			
Festuca	0,88	5,01			
Criterio de Tolerancia a la sequía					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Planta del rocío	1,67	5,00	5,00	0,000	0,00%
Clavel chino	1,67	5,00			
Gazania	0,56	5,00			
Lantana rastrera	0,56	5,00			
Festuca	0,56	5,00			
Criterio de Mantenimiento					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Planta del rocío	1,43	5,00	5,00	0,000	0,00%
Clavel chino	1,43	5,00			
Gazania	0,71	5,00			
Lantana rastrera	0,71	5,00			
Festuca	0,71	5,00			

- Vector prioridad global

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Vector Prioridad Global
Planta del rocío	16,87%	9,91%	4,68%	31,46%
Clavel chino	16,87%	9,91%	4,68%	31,46%
Gazania	5,32%	3,30%	2,34%	10,97%
Lantana rastrera	5,32%	3,30%	2,34%	10,97%
Festuca	9,51%	3,30%	2,34%	15,15%

Anexo 8: Determinación de la matriz comparación de criterios usados en las especies de césped.

- Matriz comparación por pares

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Funcionalidad	Mantenimiento
Requerimiento hídrico	1,00	1,00	0,33	2,00
Tolerancia a la sequía	1,00	1,00	0,33	2,00
Funcionalidad	3,00	3,00	1,00	4,00
Mantenimiento	0,50	0,50	0,25	1,00

- Matriz comparación normalizada

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Funcionalidad	Mantenimiento
Requerimiento hídrico	0,18	0,18	0,17	0,22
Tolerancia a la sequía	0,18	0,18	0,17	0,22
Funcionalidad	0,55	0,55	0,52	0,44
Mantenimiento	0,09	0,09	0,13	0,11

- Vector prioridad

Criterios	Vector prioridad
Requerimiento hídrico	0,19
Tolerancia a la sequía	0,19
Funcionalidad	0,51
Mantenimiento	0,11
Total	1,00

- Consistencia del criterio

Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Requerimiento hídrico	0,76	4,02	4,02	0,01	1,04%
Tolerancia a la sequía	0,76	4,02			
Funcionalidad	2,08	4,04			
Mantenimiento	0,42	4,01			

Anexo 9: Determinación de la matriz comparación de sub-criterios usados en las especies de césped.

- Matriz comparación por pares

Sub-Criterios	Resistencia a la sombra	Resistencia al pisoteo
Resistencia a la sombra	1	3
Resistencia al pisoteo	0,33	1

- Matriz comparación normalizada

Sub-Criterios	Resistencia a la sombra	Resistencia al pisoteo
Resistencia a la sombra	0,75	0,75
Resistencia al pisoteo	0,25	0,25

- Vector prioridad

Sub-Criterios	Vector prioridad
Resistencia a la sombra	0,75
Resistencia al pisoteo	0,25

Anexo 10: AHP para especies de césped

Determinación de la matriz comparación por pares, matriz comparación normalizada y el vector prioridad para cada criterio y sub-criterio.

- Matriz comparación por pares

- Criterios

Criterio de Requerimiento hídrico			
	Bermuda	Americano	Paspalum
Bermuda	1,00	2,00	2,00
Americano	0,50	1,00	1,00
Paspalum	0,50	1,00	1,00
Criterio de Tolerancia a la sequía			
Bermuda	1,00	3,00	2,00
Americano	0,33	1,00	0,50
Paspalum	0,50	2,00	1,00
Criterio de Mantenimiento			
Bermuda	1,00	1,00	0,50
Americano	1,00	1,00	0,50
Paspalum	2,00	2,00	1,00

- Sub-Criterios

Sub-Criterio de Resistencia a la sombra			
	Bermuda	Americano	Paspalum
Bermuda	1,00	0,33	1,00
Americano	3,00	1,00	3,00
Paspalum	1,00	0,33	1,00
Sub-Criterio de Resistencia al pisoteo			
Bermuda	1,00	2,00	2,00
Americano	0,50	1,00	1,00
Paspalum	0,50	1,00	1,00

- Matriz comparación normalizada

- Criterios

Criterio de Requerimiento hídrico			
	Bermuda	Americano	Paspalum
Bermuda	0,50	0,50	0,50
Americano	0,25	0,25	0,25
Paspalum	0,25	0,25	0,25
Criterio de Tolerancia a la sequía			
Bermuda	0,55	0,50	0,57
Americano	0,18	0,17	0,14
Paspalum	0,27	0,33	0,29
Criterio de Mantenimiento			
Bermuda	0,25	0,25	0,25
Americano	0,25	0,25	0,25
Paspalum	0,50	0,50	0,50

- Sub-criterios

Sub-Criterio de Resistencia a la sombra			
	Bermuda	Americano	Paspalum
Bermuda	0,20	0,20	0,20
Americano	0,60	0,60	0,60
Paspalum	0,20	0,20	0,20
Sub-Criterio de Resistencia al pisoteo			
Bermuda	0,50	0,50	0,50
Americano	0,25	0,25	0,25
Paspalum	0,25	0,25	0,25

- Vector prioridad

	Riego	Tolerancia a la sequía	Mantenimiento	Resistencia a la sombra	Resistencia al pisoteo
Bermuda	0,50	0,54	0,25	0,20	0,50
Americano	0,25	0,16	0,25	0,60	0,25
Paspalum	0,25	0,30	0,50	0,20	0,25

- Consistencia de alternativas para cada criterio o sub-criterio

- Criterio

Criterio de Requerimiento hídrico					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Bermuda	1,50	3,00	3,00	0,00	0,00%
Americano	0,75	3,00			
Paspalum	0,75	3,00			
Criterio de Tolerancia a la sequía					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Bermuda	1,62	3,01	3,01	0,00	0,70%
Americano	0,49	3,00			
Paspalum	0,89	3,01			
Criterio de Mantenimiento					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Bermuda	0,75	3,00	3,00	0,00	0,00%
Americano	0,75	3,00			
Paspalum	1,50	3,00			

- Sub-Criterio

Sub-Criterio de Resistencia a la sombra					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Bermuda	0,60	3,00	3,00	0,00	0,00%
Americano	1,80	3,00			
Paspalum	0,60	3,00			
Sub-Criterio de Resistencia al pisoteo					
Criterios	I	II	Promedio	CI	CR=CI/RI
Bermuda	1,50	3,00	3,00	0,00	0,00%
Americano	0,75	3,00			
Paspalum	0,75	3,00			

- Vector prioridad global

	Requerimiento hídrico	Tolerancia a la sequía	Funcionalidad	Mantenimiento	Vector Prioridad Global
Bermuda	9,50%	10,24%	14,14%	2,65%	36,5%
Americano	4,75%	3,11%	26,36%	2,65%	36,9%
Paspalum	4,75%	5,65%	10,93%	5,29%	26,6%

ANEXO 11: ZONIFICACIÓN DE LAS ESPECIES PLANTAS EN LOS JARDINES DE LA UNALM

287600

287800

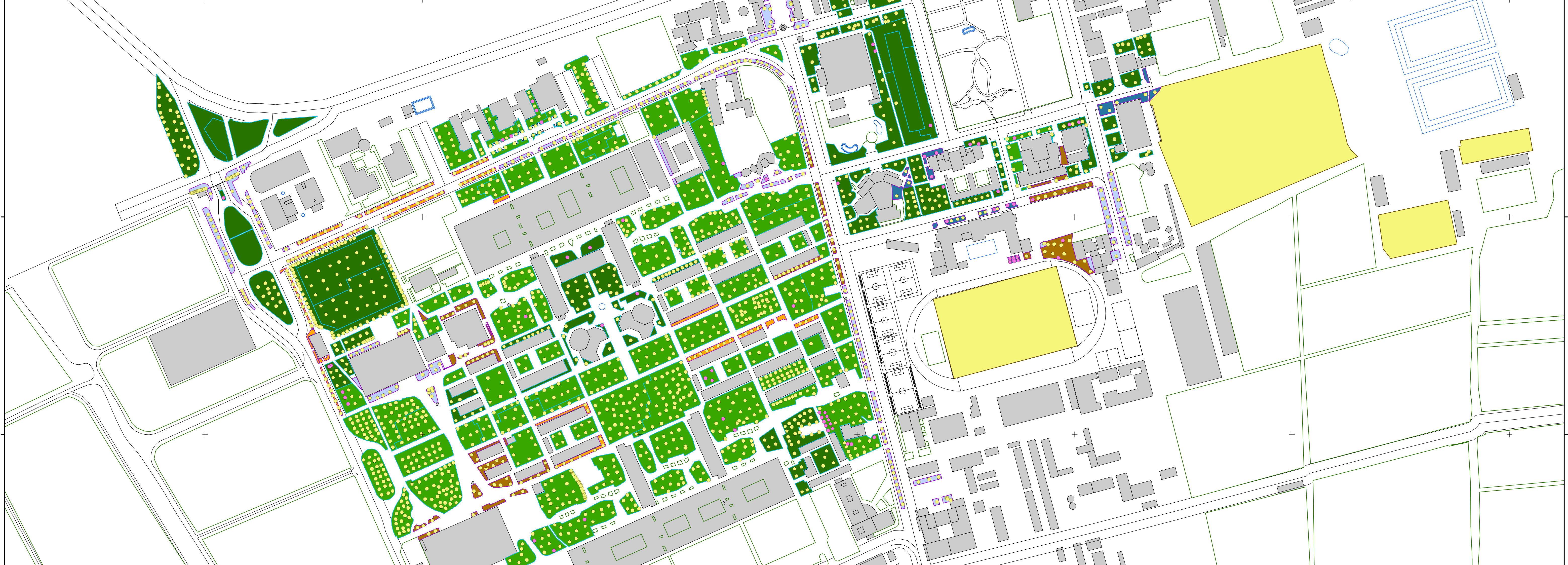
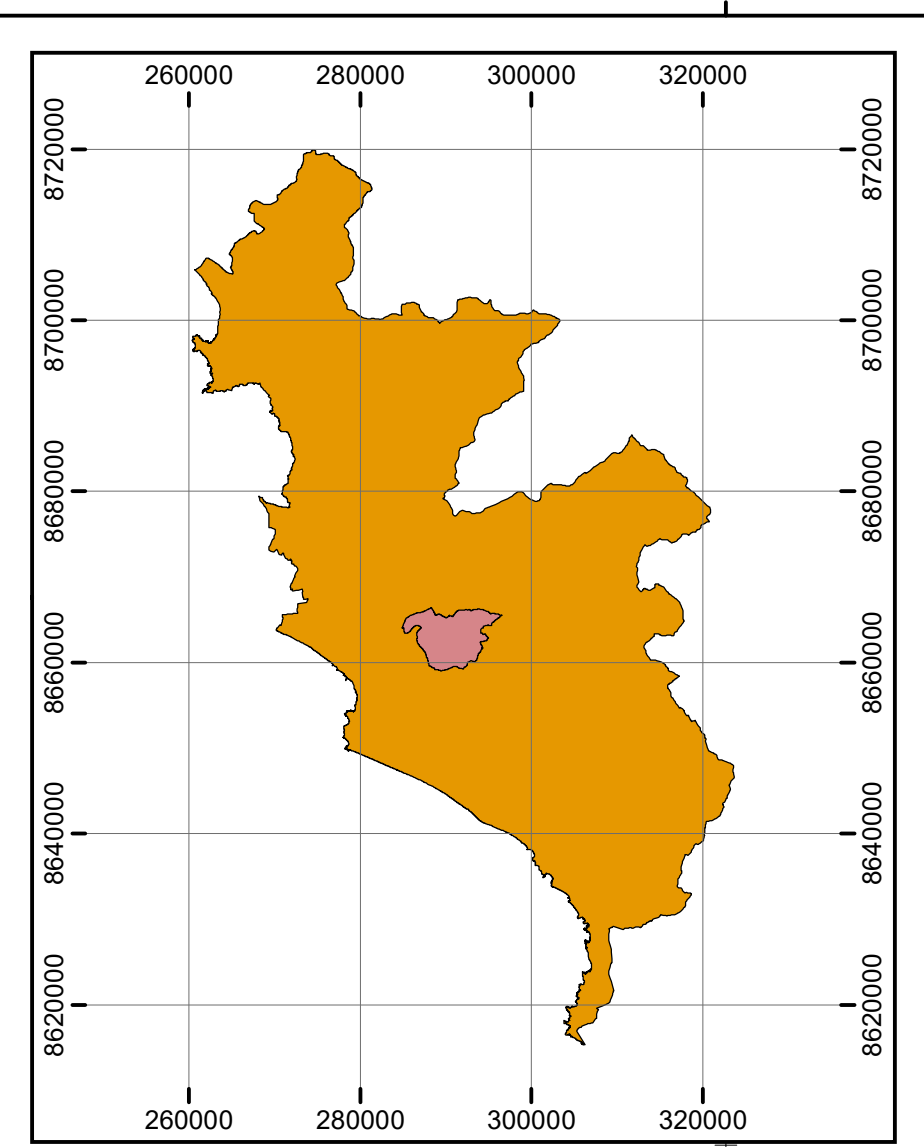
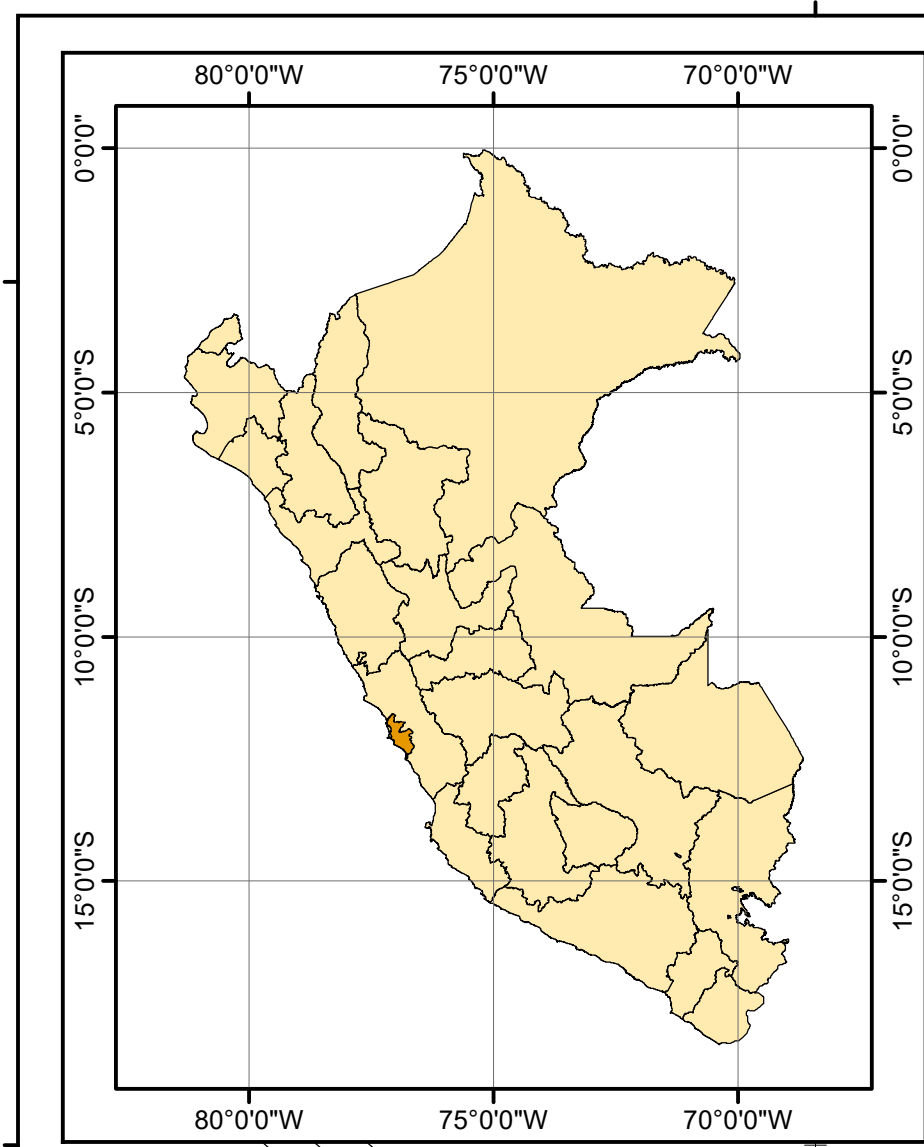
288000

288200

288400

288600

288800



287600

287800

288000

288200

288400

288600

288800

LEYENDA

- Pistas
- Edificaciones
- Áreas verdes urbanas - Parcelas de cultivo
- Reservorios
- Zonificación de áreas verdes**
- Paisajístico
- Utilitario-Deportivo

Coefficiente de jardín por válvulas de riego

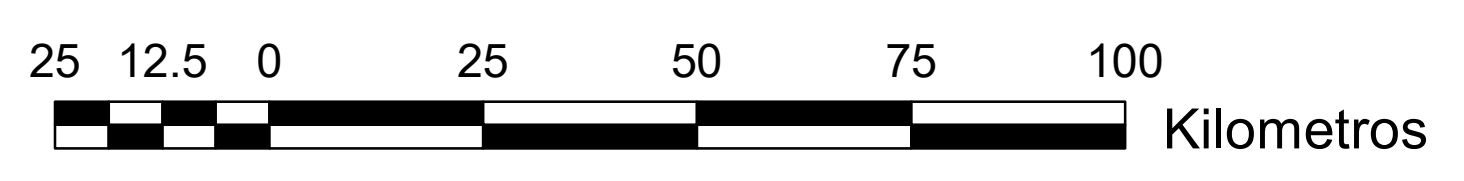
- 0.30
- 0.40
- 0.50
- 0.60
- 0.64
- 0.70
- 0.80

Especies de plantas identificadas

- Palmera
- Árbol

Especies de plantas a implementar

- Palmera
- Árbol



TESISTA: Bach. Rayan Renato Figueroa Asencios		UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
TEMA DE TESIS: SELECCIÓN DE PLANTAS, ZONIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA EN LOS JARDINES DE LA UNALM		LÁMINA: Zonificación de las especies de plantas en los jardines de la UNALM	Nº DE LÁMINA: 1
		UBICACIÓN: Distrito: La Molina Provincia: Lima Departamento: Lima	FECHA: Junio de 2019
			ESCALA: 1:1,750