

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“TOLERANCIA A ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO EN GENOTIPOS  
DE AVENA FORRAJERA EN LA SIERRA ALTOANDINA”**

**Presentada por:**

**KERRY KARY MENDOZA LOAYZA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Lima - Perú**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**“TOLERANCIA A ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO EN GENOTIPOS  
DE AVENA FORRAJERA EN LA SIERRA ALTOANDINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**KERRY KARY MENDOZA LOAYZA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Marcial Cumpa Gavidia

**PRESIDENTE**

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez

**PATROCINADOR**

Ph. D. Carlos Gómez Bravo

**CO – PATROCINADOR**

Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas

**MIEMBRO**

Ph.D. Raúl Blas Sevillano

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Con cariño a mis padres:

Luciano y Nelly

A mis hermanas,  
tíos (as) y primos (as)  
que siempre me motivan a seguir superándome.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias por la confianza brindada de mi patrocinador Dr. Javier Ñaupari, también por la oportunidad del Dr. Carlos Gómez para participar en el proyecto financiado PNIA, sin los cuales no hubiera sido la ejecución del presente trabajo.

A la Dra. Lucrecia Aguirre por permitirme el uso de las instalaciones del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP), al Mg Sc. Samuel Pizarro por el apoyo constante en la culminación de este trabajo, además a mis compañeros y amigos (as) del laboratorio.

Al Instituto de Biotecnología (IBT) Dr. Raúl Blas y a todas las amistades en mi paso por la maestría en mejoramiento genético de plantas.

Finalmente, a la Universidad Nacional Agraria La Molina y a sus centros experimentales como es el Campo Agrícola Experimenta – FUNDO y el IRD Sierra por facilitarme los espacios para el desarrollo de la tesis.

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	LA AVENA A NIVEL MUNDIAL.....	3
2.1.1.	LA AVENA EN SUDAMÉRICA Y EL PERÚ .....	4
2.1.2.	GENERALIDADES DE LA AVENA.....	5
2.1.3.	FASES FENOLÓGICAS DE LA AVENA.....	6
2.1.4.	MORFOLOGÍA DE LA AVENA.....	8
2.1.5.	VARIETADES .....	12
2.2.	ESTRÉS EN PLANTAS.....	13
2.2.1.	ESTRÉS HÍDRICO.....	14
2.2.2.	ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO.....	14
2.3.	MECANISMOS DE ADAPTACIÓN AL ESTRÉS HÍDRICO .....	29
2.4.	INDICADORES DE ESTRÉS.....	32
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	42
3.1.	LUGAR DE ESTUDIO .....	42
3.2.	Proceso Instalación y Conducción .....	43
3.2.1.	Siembra .....	43
3.2.2.	Preparación de las macetas.....	45
3.2.3.	Trasplante .....	46
3.2.4.	Riego .....	46
3.2.5.	Diseño de campo .....	47
3.3.	Características morfológica evaluadas .....	48
3.4.	Indicadores de respuesta al estrés .....	49
3.4.1.	Vigor de la planta .....	50
3.4.2.	Relación verde Senescente <sup>-1</sup> .....	50
3.4.3.	Área foliar (cm <sup>2</sup> Planta <sup>-1</sup> ).....	53

3.4.4 Relación raíz planta <sup>-1</sup> (R P <sup>-1</sup> ) .....	54
3.4.5 Biomasa seca radicular y aérea (g planta <sup>-1</sup> ).....	54
3.4.6 Índice de tolerancia al estrés (STI).....	55
3.4.7 Eficiencia de uso de agua de la productividad (EUAp) .....	55
3.5. Análisis estadístico.....	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1. INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO .....	57
4.1.1. Vigor de la planta (Altura en cm).....	57
4.1.2. Relación verde senescente <sup>-1</sup> (V S <sup>-1</sup> ).....	59
4.1.3. Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ).....	60
4.1.4. Relación raíz planta <sup>-1</sup> .....	61
4.1.5. El índice de tolerancia al estrés (STI) .....	62
4.1.6. Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp) g ml <sup>-1</sup> .....	64
4.2. CORRELACIÓN ENTRE LOS INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO.....	64
4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	65
4.4. AGRUPACIÓN DE GENOTIPOS EN RESPUESTA DE SUS INDICADORES DE ESTRÉS.....	67
V. CONCLUSIONES .....	70
VI. RECOMENDACIONES .....	71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
VIII. ANEXOS .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Principales países productores de avena en América del Sur entre los años 1998 – 2002 .....	4
Tabla 02. Información estadística de la avena forrajera de la región Junín.....	5
Tabla 03. Fases fenológicas de la avena forrajera. ....	6
Tabla 04. Etapas de crecimiento del cultivo. ....	7
Tabla 05. Rango, promedio, % de decrecimiento y heredabilidad de las características de los genotipos evaluada a 2 condiciones de riego. ....	33
Tabla 06. Indicadores de desarrollo de las plantas de Callistemon, bajo control y estrés hídrico. ....	36
Tabla 07. Morfología de la raíz en plantas de Callestemon bajo riego normal (control) y estrés hídrico. ....	39
Tabla 08. Código, nombre, procedencia y rendimiento de los genotipos evaluados. ....	44
Tabla 09. Propiedades físicas y químicas del suelo utilizado en las macetas.....	45
Tabla 10. Características morfológicas evaluadas en la cosecha de la avena forrajera. ....	48
Tabla 11. Indicadores estrés hídrico en la avena forrajera. ....	49
Tabla 12. Promedio de la altura total(cm) de los 19 genotipos en 3 niveles de riego. ....	58
Tabla 13. Relación verde senescente-1 (V S-1) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego. ....	59
Tabla 14. Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego. ....	60
Tabla 15. Relación raíz planta-1 (R P-1) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego. ....	62
Tabla 16. Índice de tolerancia al estrés (STI) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego. ....	63
Tabla 17. Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego. ....	64
Tabla 18. Correlación de los 6 indicadores de estrés hídrico considerando los 19 genotipos evaluados y los 3 niveles de riego.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Áreas de producción mundial de la cebada, avena y trigo.....	3
Figura 02. Partes de una panícula equilátera y espiguilla de avena. ....	10
Figura 03. Bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares frente a la tolerancia al estrés hídrico en plantas.....	15
Figura 04. Efecto directo e indirecto del estrés por sequía en la reducción de las tasas fotosintéticas de las plantas. Fuente: Adaptado de (Mohamma et al., 2016). ....	18
Figura 05. Modelo propuesto para la fijación del CO <sub>2</sub> en <i>P. oleracea</i> A, plantas regadas periódicamente (Control) y B, plantas de 21-23 días de suspendido el riego (Estrés). Fuente: (Lara et al., 2004). ....	19
Figura 06. Principales tipos de modificaciones postranscripcionales y postraduccionales que afectan la respuesta molecular a estrés por sequía y calor. Fuente: (Guerra et al., 2015).....	25
Figura 07. Modelo integrado de la tolerancia a la sequía en 2 cultivares de avena Patones (tolerantes) y Flega (Susceptible). Fuente: (Sánchez et al., 2015).....	28
Figura 08. Estrategias de las plantas frente al estrés hídrico. Adaptado de (Luna et al., 2015).....	30
Figura 09. Comparación de promedios de altura de 30 genotipos en condiciones de riego normales y estresadas. Fuente: (Khayatnezhad et al., 2010).....	33
Figura 10. A: altura de planta, B: tasa relativa de crecimiento, en plantas de <i>Callistemon</i> bajo riego control (100% CC) y estrés hídrico (40% CC). Fuente: (Álvarez et al., 2011).....	34
Figura 11. Comparación de promedios de la biomasa de 30 genotipos en condiciones de riego normales y estresadas. Fuente: (Khayatnezhad et al., 2010).....	35
Figura 12. Promedio de la materia seca de las hojas, tallos y raíces de las plantas de <i>Callistemon</i> en condiciones normales de riego (control) y sequía. Fuente: (Álvarez et al., 2011).....	36



Figura 13. Efecto del estrés por déficit hídrico en la relación raíz planta-1 en trigo. 0h = inicio del tratamiento, 72hCK= 72 horas después del estrés hídrico, 72hWS= 72 horas después control. Fuente: (Zhang et al., 2009).....	38
Figura 14. Registro de precipitación (mm) total por mes del año 2017 de la ciudad de Jauja.....	42
Figura 15. Registro de temperatura (°C) por mes del año 2017 de la ciudad de Jauja....	43
Figura 16. Distribución de las macetas en campo, dentro del interceptor de lluvia.....	47
Figura 17. Interceptor de lluvia cubriendo las macetas (unidad experimental).....	48
Figura 18. Genotipo listo para la cosecha sometidos de 25, 50 y 75 por ciento de la capacidad de campo de riego.....	49
Figura 19. Captura de imágenes para la obtención de la cobertura. ....	50
Figura 20. Antes (a.) y después (b.) de la corrección del histograma con el software GIMP 2.10.10 ( <a href="https://www.gimp.org/downloads/">https://www.gimp.org/downloads/</a> ).....	51
Figura 21. Generación de los ROIs. Clase: hoja verde (color verde); hoja seca o senescente (color amarillo); fondo (color blanco).....	51
Figura 22. (a.) Imagen de entrenamiento lista para la clasificación (b.) Imagen clasificada en hoja verde y senescente mediante el algoritmo Random Forest con alta confiabilidad (k =0.996). ....	52
Figura 23. Secuencia para la obtención del área un pixel. ....	53
Figura 24. Análisis de componentes principales (APC) de los 6 indicadores de estrés, a partir de los 19 genotipos de avena forrajera en los 3 niveles de riego: a. 75% CC, b. 50 % CC y c. 25 % CC. ....	66
Figura 25. Biplot basado en los dos primeros ejes de componentes principales (PC1 y PC2) y la formación de clusters a partir de 5 indicadores de estrés, los 19 genotipos de avena forrajera a. 75% CC, b. 50 % CC y c. 25 % CC. Nota: los detalles de los clusters se muestran en el Anexo 06 a, b y c para cana nivel de riego. ....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Registro de las características morfológicas de los 19 genotipos evaluados a tres niveles de riego.....	80
ANEXO 2. Registro de los indicadores de los 19 genotipos evaluados a 3 niveles de riego. ....	89
ANEXO 3. ANVA de los indicadores de estrés a 75 por ciento de nivel de riego....	95
ANEXO 4. Cuadro resumen del análisis cluster para los 3 niveles de riego.....	99
ANEXO 5. Fichas técnicas de las variedades comerciales de avena forrajera.....	102

## RESUMEN

El objetivo fue seleccionar genotipos de avena forrajera con buenas características forrajeras y con tolerancia al estrés por déficit hídrico para la sierra central del Perú. El estudio se desarrolló en el IRD Sierra San Juan de Yanamuclo (3200 msnm) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se evaluaron 19 genotipos de avena forrajera (*Avena sativa*) entre los meses de junio del 2017 a enero de 2018, los genotipos fueron colectados de productores y de los centros de investigación del INIA a nivel nacional. El experimento fue desarrollado en macetas de 7 litros, con 3 niveles de riego a 75, 50 y 25 por ciento de la capacidad de campo (% CC) del sustrato, suelo franco arenoso. Los indicadores de estrés hídrico estudiados fueron: altura de planta, relación verde senescente<sup>-1</sup>, relación raíz planta<sup>-1</sup>, área foliar, índice de tolerancia al estrés (STI), y eficiencia de uso de agua de la productividad (EUAp). Se utilizó el diseño completamente aleatorizado y correlación de los indicadores de estrés hídrico. Para la selección de los genotipos se consideró a todos los indicadores evaluados, a través del análisis multivariado: el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis cluster. Los análisis estadísticos fueron realizados para cada nivel de riego aplicado. Los resultados revelan que los genotipos Avena blanca - Junín (NB-03), Avena negra - Puno (NN-01), NN-03 (Avena negra - Junín), Avena negra - Puno (NN-06), Avena negra - Junín (NN-04), Mantaro 15 - Junín (INIA-01) e Vilcanota I - Cuzco (INIA-04), son tolerantes a estrés **moderado** de déficit hídrico (25% CC) debido a que sus indicadores en forma múltiple los agrupan por similitud y presentan valores ligeramente superiores.

**Palabras claves:** *características agronómicas, fitomejoramiento, forraje, selección, indicadores de estrés.*

## ABSTRACT

The objective was to screening forage oat genotypes of good agronomic characteristics and tolerance to water deficit to the Central Peruvian Andes. The study was conducted in the IRD Sierra San Juan de Yanamucllo (3304 m.a.s.l) of the National Agrarian University La Molina (UNALM). Nineteen forage oat genotypes were evaluated between June 2017 and January 2018, the genotypes were collected from producers and from the National Institute of Agricultural Innovation (INIA). The experiment was developed in 7-liter pots, with three irrigation levels at 75, 50 and 25 percent of the field capacity (% CC) of the substrate, sandy-loam soil. Plant height, green / senescent ratio, root / plant ratio, leaf area, modified stress tolerance index (MSTI) and water use efficiency of the productivity (WUEp) were indicators to evaluated water deficit. A completely randomized design and correlation analysis to described each characteristic were used. For the genotype selection, all agronomic characteristics were analyzed through multivariate analysis like principal component analysis (PCA) and cluster analysis. Statistical analyzes were performed for each irrigation level. The results revealed that the genotypes Avena blanca - Junín (NB-03), Avena negra - Puno (NN-01), NN-03 (Avena negra - Junín), Avena negra - Puno (NN-06), Avena negra - Junín (NN-04), Mantaro 15 - Junín (INIA-01) e Vilcanota I - Cuzco (INIA-04), are tolerant to moderate stress of water deficit (25% CC) due to their good agronomic characteristics for forage kept.

***Key words:*** agronomic characteristics, forage, screening method, plant breeding.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, los fitomejoradores han hibridado la avena blanca (*Avena sativa*) y la avena roja (*Avena bizantina*) para seleccionar genotipos de tipo grano, que se adapte a una gama más amplia de climas. Sin embargo, el mejoramiento para la avena forrajera no ha sido desarrollado con la misma intensidad (FAO 2004). La *A. sativa* se utiliza como forraje en todo el mundo y la avena diploide (*Avena strigosa*) se cultiva también como forraje en América del Sur. En el Perú, la avena es un cultivo anual adaptado a distintas condiciones ambientales y de manejo con alto potencial forrajero especialmente en zonas altoandinas, siendo el principal alimento del ganado en forraje fresco y almacenado como heno o ensilado para la época de estiaje (Argote y Halanoca 2007; Noli et al 2007; Noli et al 2004).

Las proyecciones de temperatura en la superficie seguirán incrementándose por efecto del cambio climático y los patrones de precipitación no serán uniformes según el Panel Intergubernamental del Cambio climático (IPCC, 2014); considerando que, el agua siempre ha sido el principal factor limitante a la producción agrícola (FAO, 2012), la selección de plantas tolerantes al estrés por déficit hídrico es cada vez más importante (Villazón, 2017). Las siguientes características son consideradas indicadores de estrés por déficit hídrico en la generación de una nueva variedad forrajera: la altura, longitud y ancho de hoja, número de tallos, materia seca (Argote y Halanoca 2007; Noli et al 2004), el área foliar (Montoya 2017), la relación verde senescente<sup>-1</sup> (FAO, 2012 y Luna et al., 2015), relación raíz planta<sup>-1</sup> (Xu et al 2015), y el índice de tolerancia al estrés (STI) (Amiri et al 2014). A nivel fisiológico, la transpiración y la eficiencia de uso de agua de la productividad (EUAp) (Luna, 2015) serán también indicadores claves para la selección de genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico.

A la actualidad, se han desarrollado diversas técnicas de análisis multivariado que permiten seleccionar genotipos considerando más de una característica deseable, como son la formación de clusters y análisis biplot usados por (Khayatnezhad et al 2010; Zaheri y Bahraminejad 2012) en mejoramiento genético de cereales.

Los objetivos del presente estudio fueron seleccionar genotipos de avena forrajera que aseguren una tolerancia al estrés por déficit hídrico. A partir de la evaluación de las características morfológicas de genotipos de avena forrajera sometidas a estrés por déficit hídrico y determinar la eficiencia de uso de agua de la productividad (EUAp) de genotipos de avena forrajera sometida a tres niveles hídricos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA AVENA A NIVEL MUNDIAL

La avena ocupa el quinto lugar en producción mundial de cereales, es una importante planta productora de grano en varios países, se utiliza también en la alimentación de animales como forraje verde, heno o ensilado. Esta gramínea produce forraje de buena calidad, capacidad de producción y por su amplio rango de adaptabilidad a diversos climas es preferido por los agricultores en diversas zonas del mundo (Álvarez, 2017).

La avena ha sufrido un descenso en su producción en los últimos 50 años (Figura 01), sin embargo, se ha observado que este cultivo está siendo adaptado como forraje de invierno en el Medio Oriente y América del Sur (FAO, 2004).

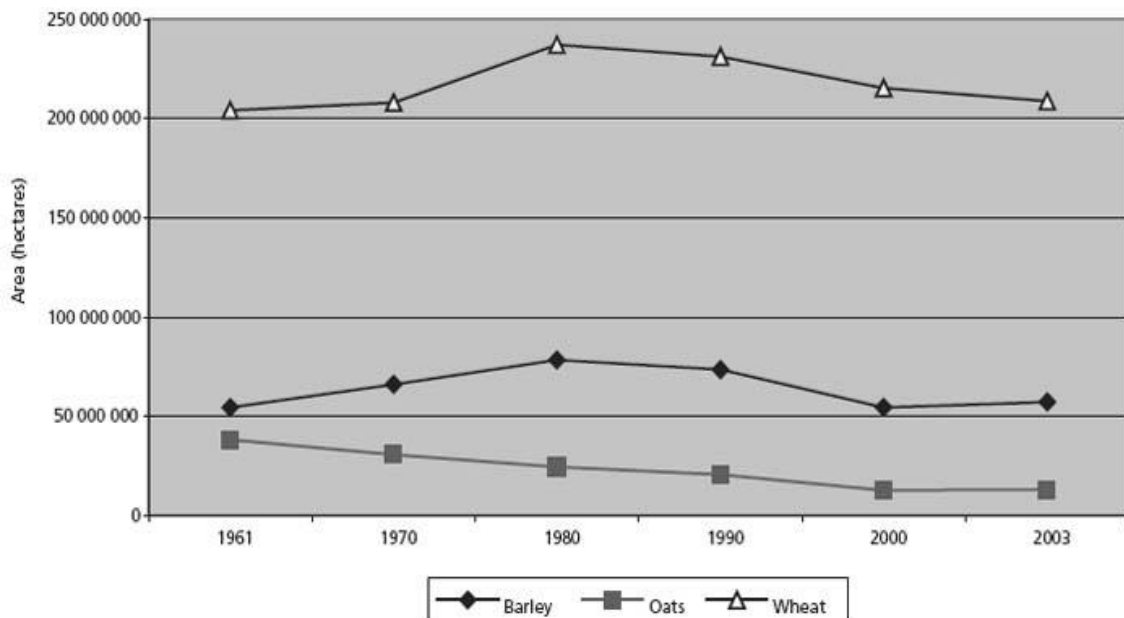


Figura 01. Áreas de producción mundial de la cebada, avena y trigo. Fuente: (FAO, 2004).

La avena es un cultivo importante de grano y forraje con un área cultivada de más de 9 millones de hectáreas en el mundo (Montilla, 2013). Sin embargo, la sequía y enfermedades causadas principalmente por hongos, reducen su producción. En tanto, los fitomejoradores buscan plantas que puedan tolerar o resistir el estrés y emplearla en los programas de mejoramiento.

### 2.1.1. LA AVENA EN SUDAMÉRICA Y EL PERÚ

El género *Avena* se introdujo a América del Sur tras el descubrimiento de los españoles, los cuales según su ploidia existen especies: diploides, tetraploides y hexaploides, este cultivo es importante en Argentina, Brasil, Chile, Perú, Bolivia y Ecuador (Tabla 01), donde en los primeros tres países el uso que le dan es como grano para la industria transformadora, en la región andina el área cosechada es bastante pequeña y el uso principal es como forraje para ganado, sin embargo no se cuenta con mucha información estadística (FAO, 2004).

**Tabla 01. Principales países productores de avena en América del Sur entre los años 1998 – 2002.**

País	Área cultivada (ha)	Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Argentina</b>	327 500	1 742
<b>Brasil</b>	221 600	1 217
<b>Chile</b>	85 200	3 396
<b>Perú</b>	63 600	134
<b>Uruguay</b>	45 000	1 000
<b>Bolivia</b>	4 900	930
<b>Ecuador</b>	1 100	726

Fuente: (FAOSTAT, sf)

La avena es una gramínea de comportamiento anual, importante entre las pasturas cultivadas en la sierra del Perú, es también un cereal rústico, adaptable a diversos climas y a todo tipo de terreno, se puede utilizar como forraje verde, heno o ensilado en la alimentación del ganado principalmente en la época de estiaje (Noli et al., 2004).

En la región Junín en los últimos años la producción de avena forrajera se ha mantenido relativamente estable con un ligero incremento en el 2017 y 2018 (Tabla 02), las pérdidas han sido raramente registradas con excepción del 2017, la producción está muy relacionada con la siembra incrementándose en los últimos 2 años, el precio también se ha mantenido



estable con la excepción del 2015 relacionado con la baja extensión de siembra, los datos fueron extraídos de la serie histórica de la Dirección de Estadística e Informática Agraria de la Región Junín (Tabla 02).

**Tabla 02. Información estadística de la avena forrajera de la región Junín.**

<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Siembras (ha.)</b>	4483	4551	4549	4683	4490	4375	4525	5017	5396
<b>Sup Perdida (ha.)</b>	-	1.00	-	0.40	-	-	4.00	75.17	-
<b>Cosechas (ha.)</b>	4485	4557	4575	4680	4489	4412	4535	4929	5405
<b>Rendimiento (Kg./ha.)</b>	14417	14756	15045	15527	15497	6942	15403	16137	17068
<b>Producción (ton.)</b>	64659	67242	68832	72662	69565	30629	69851	79539	92255
<b>Precio Chacra (S/Kg.)</b>	0.12	0.12	0.14	0.15	0.17	1.60	0.23	0.26	0.28

Fuente: (Dirección Regional de Agricultura Junín, sf)

### 2.1.2. GENERALIDADES DE LA AVENA

La avena común o forrajera es una gramínea anual que pertenece a la familia Gramineae, tribu *Avenae* y género *Avena*, la especie *Avena sativa* L. se desarrolla en altitudes por arriba de los 2 000 a 4 200 msnm en zonas templadas y frías, con pH ácido de 4.5, en terrenos secos y de poca fertilidad, la densidad de siembra va de 70 a 100 kg ha<sup>-1</sup> al voleo y por surcos de 50 a 70 kg ha<sup>-1</sup>, para una adecuada producción de forrajes o grano es necesario tener población adecuada de 200 plantas m<sup>-2</sup> (Flores, 2005; Nestares, 2014).







Los requerimientos de precipitación son de 250 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup>, con un óptimo de 500 mm, mientras que el rango de temperatura de la avena es de 5 a 30 °C, con un óptimo de 17.5 °C. La avena prefiere suelos arcillo-limosos y franco-arcillosos. Se adapta mejor a suelos profundos de entre 40 y 60 cm y con pH de 4.5 a 7.5, reportado en México (Jurado y Lara, 2014).

La avena tiene alta digestibilidad, alta cantidad de energía metabolizable y su fibra presenta mejores cualidades que otros cereales, mientras que el grano es rico en carbohidratos, proteínas y vitamina B, que se caracteriza como un forraje apetecible y deseable para el ganado (Álvarez, 2017).

### 2.1.3. FASES FENOLÓGICAS DE LA AVENA

Una observación fenológica consiste en contar el número de plantas que ha alcanzado una determinada fase en una fecha exacta. La etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas, dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de este evento se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante dos o tres semanas. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas (Tablas 03).

**Tabla 03. Fases fenológicas de la avena forrajera.**

						
	<b>EMERGENCIA</b>	<b>MACOLLAGE</b>	<b>ENCAÑONADO</b>	<b>FLORACIÓN</b>	<b>MADURACIÓN LECHOSA</b>	<b>MADURACIÓN PASTOSA</b>
Aparición de las plántulas con 1 ó 2 hojas por encima de la superficie del suelo.	Aparece el primer macollo en la axila de una de sus más bajas de la planta.	Aparece el primer nudo en el tallo principal de la planta, a 2 ó 3 centímetros del suelo.	Momento en que se abren las primeras flores.	Los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso.	Los granos la ser presionado presentan una consistencia pastosa.	

Adaptado de : (Yzarra y Lopez, 2011)

Según (López, 1991 citado por Álvarez, 2017) menciona que, el desarrollo de los cereales se divide en las siguientes fases o periodos:

- Periodo vegetativo: este periodo se caracteriza por la emergencia de hojas y macollos, desde la germinación hasta el fin del macollage.
- Periodo reproductivo: cambio estructural a nivel de meristemo, cambiando su diferenciación floral, desde la etapa de elongación del tallo y finaliza con la fecundación.

- c) Periodo de maduración: después de la etapa de fecundación hasta la maduración de la semilla.

Cada periodo de desarrollo se asigna según la escala de crecimiento de Zadoks (Tabla 04) los códigos GS (días después de la germinación) presentados, son similares para los cereales, sin embargo, en el caso de la avena tiene lugar la panícula en vez de la espiga (Montilla, 2013).

**Tabla 04. Etapas de crecimiento del cultivo.**

<b>Código GS</b>	<b>Descripción general</b>	<b>Característica</b>
00-09	germinación	Emergencia del coleóptilo
10-19	crecimiento de la plántula	Expiación foliar
20-19	macollo	emergencia de los macollos
30-39	encañonado	expiación y formación de los internudos
40-49	embuche	Hinchazón de la vaina de la hoja de la bandera
50-59	floración	emergencia de la espiga
60-69	Antesis	antesis visible
70-79	Maduración lechosa	contenido de leche en el grano
80-89	Maduración Masosa	contenido de masa en el grano
90-99	Madurez	endurecimiento y aflojamiento del grano

Fuente: (Zadoks et al., 1974 citado por Montilla, 2013).

Las fases fenológicas de la antesis y la maduración del grano son críticas cuando ocurre estrés por déficit hídrico, porque las reservas del tallo y las hojas se van al crecimiento y llenado del grano. Existe una correlación positiva significativa entre la tasa de materia seca perdida por el tallo después de la antesis y la capacidad de producción de grano después de la antesis es importante para la producción de grano en presencia de estrés hídrico post-antesis en cebada (Mogensen, 1985 y Blum, 1988 citados por Gonzales, 2001).

#### **2.1.4. MORFOLOGÍA DE LA AVENA**

La avena presenta raíces abundantes y fibrosas, penetran el suelo según su estructura, hasta los 50 cm (Nestares, 2014). Posee hojas alargadas, tallos gruesos y erectos. A diferencia de otros cereales requieren más humedad, aunque tiene baja tolerancia al exceso de agua (SAGARPA, 2014 citado por Jurado y Lara, 2014).

##### **a) NÚMERO DE MACOLLOS**

Un macollo o tallo se origina en la axila de una hoja o en el nudo del coleoptile, los macollos comparten la misma masa radical con el tallo principal. Una vez establecidos los macollos primarios de sus axilas, se originan los macollos secundarios; los terciarios se desarrollan luego de las axilas de los macollos secundarios, y así sucesivamente (Miller 1992 citado por Rivera y Roca, 2017). La planta produce de 7 a 20 macollos, dependiendo del número de corte o forma de utilización (Nestares, 2014).

El tallo de la avena forrajera está compuesto por nudos y entrenudos, huecos en la madurez y sólidos en el desarrollo vegetativo. La planta produce entre tres a ocho tallos huecos de unos 4 a 8 mm de diámetro y (Sánchez, 2012; Flores, 2005).

##### **b) HOJAS**

Las hojas de la avena son solitarias, la disposición de estas son alternas unas a otras, y cada hoja provienen del tallo. Cada hoja está compuesta por una vaina que rodea al culmo o tallo, lígula insertada en el ápice de la vaina, y la hoja forma una lámina relativamente larga figura 2 (Montilla, 2013).

Las hojas según su variedad en promedio presentan un ancho entre 15 a 25 mm y de 20 a 40 cm de longitud de hoja (Flores, 2005).

Otro método no destructivo para la determinación del área foliar es:

Área foliar (hoja):  $AF = A * L * 0.75$

Área foliar (planta): es la sumatoria de las hojas y tallos de una planta.

Dónde: A es el ancho de la hoja, L es la longitud y 0.75 es el factor de corrección para maíz. Esta fórmula fue utilizada para determinar el área foliar de los canopeos o cultivos de cobertura (CC) en Maíz bajo condiciones limitantes de agua (Irigoyen et al., 2018).

El área foliar de la planta también está dado por la sumatoria del área foliar (AF) de cada una de las hojas de la planta y se estimó mediante la siguiente fórmula.

$$AF = (L \times A) \times 0.835 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Dónde: L es el largo de la hoja (cm) A es el ancho de la hoja (cm) y 0.835 es el factor de corrección utilizado en avena (Miralles y Slafer, 1990 citado por Montoya 2017). El mismo autor en su estudio ha obtenido el área foliar de 237.93 cm<sup>2</sup> para la variedad Centenario y 186.50 cm<sup>2</sup> para la variedad Mantaro 15, en la etapa fenológica de inicio de floración en un estudio realizado en el Valle del Mantaro.

#### **c) ALTURA**

La avena dependiendo de la disponibilidad de recursos tienen una altura muy variable que va desde los 50 a 180 cm (Flores, 2005). La altura de las plantas de avena sembradas en la sierra del Perú en promedio es de 130 cm para el valle del Mantaro y de 135 cm para el altiplano de Puno, reportadas para las variedades del INIA (Noli et al., 2004; Argote y Halanoca, 2007).

Montoya (2017) consiguió para Mantaro 15 y Centenario alturas promedio de 115 y 122 cm respectivamente, trabajo realizado en el valle del Mantaro – Junín en el año 2017. En Huancavelica la avena Mantaro 15 alcanzó 157,08±2,61 cm promedio, en su estudio de fertilización con humus (Inga, 2017).

#### **d) INFLORESCENCIA**

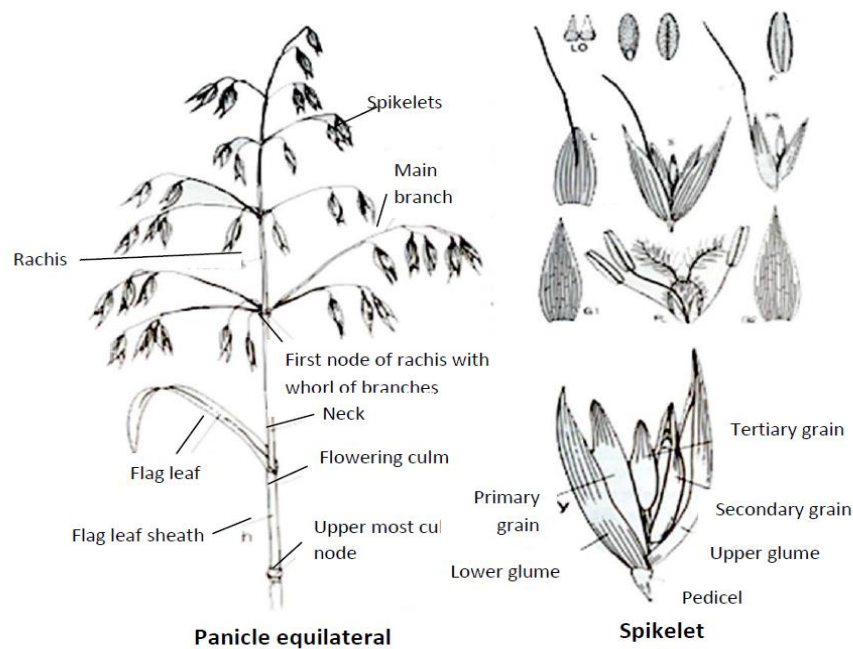
La avena es una gramínea anual con hojas planas, inflorescencias abiertas, efusas o contraídas, panículas de un solo lado o ambos lados con pedúnculos de espiguillas pediceladas. Las espiguillas son grandes, de una a varias flores y autógamias (hermafrodita). La raquilla es frágil, las glumas inferior y superior son iguales entre sí o marcadamente desiguales, poco flexibles y permanecen unido a la panícula después de la dispersión de las semillas. Las lemmas son coriáceas a crustáceas, peludo o desnudo, de siete nervios, de dos

lóbulos, o entero con un robusto toldo geniculado saliendo de la superficie dorsal, los flósculos desarticulados tienen cicatrices verticales u oblicuas. La pálea tiene dos quillas con pelos, tres estambres, el ovario es veloso, y hay dos lodículos, ovados a lanceolados, acuminado, carnosos.

La espiguilla ha sido principalmente utilizada para la delimitación y clasificación de especies y puede considerarse como diagnóstico de caracteres y son: (Ladizinsky, 2012).

- Forma de las glumas.
- La estructura de las puntas de las lemmas.
- Tamaño y forma de la cicatriz de la desarticulación.
- Forma del callo en la parte inferior de la unidad de dispersión.
- Punto de inserción del toldo en la lemma.
- El modo de desarticulación de la espiguilla en la madurez.

Para Montilla (2013) la avena a diferencia de otros cereales tiene panícula equilátera, con espiguillas dispuestas a cada lado o también unilateral (todas las espiguillas para un solo lado) altamente ramificado con un eje principal llamado raquis, de cada una surge otros ejes laterales alternos. Todos los ejes principales y laterales terminan en espiguillas que son unidades individuales florales (figura 02).



**Figura 02. Partes de una panícula equilátera y espiguilla de avena. Fuente: (Montilla, 2013).**

#### **e) COBERTURA**

Las variaciones de la cobertura en gramíneas forrajeras están marcadas por la edad de brote, por ejemplo: a las 3 semanas la cobertura es del 53% y alcanza un 80% a las 12 semanas, estos valores también se ven afectados por la estación del año donde en época seca registran 64% frente al 80 % de cobertura de la época de lluvia (Sosa et al., 2008). También influye el sistema de siembra, la avena sembrada al voleo y con alta densidad  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  supera el 60% de cobertura a partir de los 20 días (Chávez et al., 2017).

#### **f) RENDIMIENTO DE COSECHA**

El rendimiento del forraje considera a la biomasa aérea cosechada ya sea en fresco o seco, donde el forraje verde será el peso fresco cosechado del cultivo y el forraje seco es la materia seca resultante de la extracción del agua que contienen las plantas en estado fresco, el proceso de extracción de agua se realiza en laboratorio sometiendo al forraje por 48 horas a un proceso de deshidratación en horno de ventilación forzada a  $65^{\circ}\text{C}$ , el tiempo de deshidratación puede ser modificado cuando las muestras son sometidas a  $105^{\circ}\text{C}$ , la obtención de un peso constante de la muestra sometida a deshidratación indica que el proceso ha finalizado. El forraje posee diferentes porcentajes de materia seca y depende del estado fenológico de las plantas, condiciones ambientales como al estrés a que están sometidas (déficit hídrico, bajas y altas temperaturas, déficit de nutrientes), estación del año y procesamiento o conservación del forraje (AOAC, 1990).

La cosecha de la avena va depender del uso que se le vaya a dar para la obtención de heno el rendimiento es de  $5 \text{ a } 6 \text{ ton ha}^{-1}$  de forraje seco dependiendo de la madures fisiológica del grano. Para la obtención de ensilado de avena se recomienda una humedad de 60 a 70 por ciento (grano masoso o pastoso blando) y en cuanto al pastoreo se debe utilizar antes del espigamiento sin embargo, no se recomienda ya que se genera pérdidas de 20 a 35 por ciento del rendimiento del cultivo, intoxicación por nitratos y la deficiencia de nutrientes en los animales es muy común, reportado en el estado de Chihuahua – México (Jurado y Lara, 2014).

La avena forrajera en etapa grano lechoso – masoso optimiza la cantidad de forraje hasta  $19 \text{ ton ha}^{-1}$  de materia seca y la etapa de embuche alcanza la mayor calidad de forraje hasta 24% de proteína cruda (Espitia et al., 2012)

El rendimiento promedio de forraje verde es de 9.2 kg m<sup>-2</sup> y 4.5 kg m<sup>-2</sup> de materia seca en la variedad Mantaro 15 en un estudio de fertilización con humus en Huancavelica (Inga, 2017). Por otro lado, Noli et al. (2004) reportaron 30 ton ha<sup>-1</sup> de materia seca para la misma variedad de avena Mantaro 15.

Bajo las condiciones climáticas del valle del Mantaro el rendimiento de materia seca fue de 10 ton ha<sup>-1</sup> en la variedad Mantaro 15 y de 11 ton ha<sup>-1</sup> de materia seca para la variedad Centenario, en la fase fenológica grano pastoso (Montoya, 2017).

### **2.1.5. VARIEDADES**

Las variedades de avena en el mundo son muy numerosas y principalmente han sido desarrolladas para la producción de grano y adaptadas a cada zona en donde fueron liberadas (FAO, 2004). En el Perú las variedades de avena liberadas por el INIA (Nestares, 2014), y el Programa de Cereales y granos andinos de la UNALM son:

**a) INIA 901 - Mantaro 15 M**, tuvo su origen en el valle del Mantaro, liberada en 2006, está muy adaptada a altitudes que varían de 3 200 hasta los 4 200 msnm para la producción de forraje verde, para la producción de grano entre las altitudes de 3 200 a 3 400 msnm, sus características son: grano color crema, con 14 mm de largo, periodo vegetativo de 150 días y rendimiento 50 000 kg ha<sup>-1</sup> de forraje verde.

**b) INIA 904 - Vilcanota**, esta semilla fue originada y producida por la Estación Experimental Agraria Andenes – Cusco, por selección masal, a partir del cultivar Mantaro 15, recomendable para la sierra entre las altitudes de 2 700 a 3 900 msnm, grano de color amarillo pajizo, el rendimiento es de 61.25 ton ha<sup>-1</sup> y 12.25 ton ha<sup>-1</sup> de forraje verde y seco respectivamente.

**c) INIA 903 - Tayko Andenes**, también es producida por la Estación Experimental Agraria Andenes – Cusco, su origen a partir de la colección efectuada en 1985 en la localidad de Huancarani (Paucartambo – Cusco), adaptado de los 2 900 a 3 900 msnm, el grano es de color marrón a negro, el rendimiento es de 52.86 ton ha<sup>-1</sup> y 10.68 ton ha<sup>-1</sup> en forraje verde y seco respectivamente.



d) **INIA 902 - Africana**, generada por la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno, en 1992 se entregó semilla de germoplasma proveniente de África y se adaptó a condiciones del Altiplano con altitud que van de los 3 812 a 4 000 msnm, grano color crema claro, el rendimiento de forraje verde es de 85. 172 kg ha<sup>-1</sup>.

e) **INIA 905 - La Cajamarquina**, la semilla de esta variedad es producida en grandes volúmenes por la Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca, su origen en los años 1992 – 1994 a partir del germoplasma de *Avena strigosa*, adaptado a la zona agroecológica de la sierra tropical del norte del Perú, la altitud va de los 2 500 a 3 840 msnm, de climas templado y fríos, el grano es de color negro, su rendimiento es 51.71 ton ha<sup>-1</sup> de forraje verde y 14 ton ha<sup>-1</sup> materia seca.

f) **La avena Centenario**, fue liberada por el Programa de Cereales y Granos Andinos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, adaptada a las condiciones climáticas del Valle del Mantaro, la semilla es de color crema, rendimiento de 50 ton ha<sup>-1</sup> y 11 ton ha<sup>-1</sup> de forraje verde y seco respectivamente.

## 2.2. ESTRÉS EN PLANTAS

El estrés se define como la alteración en la fisiología y morfología que ocurre cuando las especies están expuestas a condiciones desfavorables que amenazan la vida de la planta originando una respuesta de alerta (Gómez, 2018).

En sistemas biológicos se mantiene el concepto físico de tensión-deformación (stress-strain) para analizar los procesos que ocurren cuando la planta se encuentra sometida a estrés. Considerada como cualquier factor ambiental capaz de producir una deformación (strain) potencialmente nociva en un organismo (Levitt 1980 citado por Lozano 2015).

El estrés se produce en situaciones adversas que interrumpe el normal funcionamiento de un ser vivo. Por ejemplo, sequía o anegamiento, temperaturas extremas, exceso de salinidad y toxicidad por metales pesados (Luna et al, 2015).

La respuesta de los cereales al medioambiente y cambio climático, con el fin de garantizar la sostenibilidad presenta dos opciones para utilizar los mecanismos de adaptación: “(1)

adaptar la fenología de los cereales a las condiciones cambiantes; (2) obtener variedades más resistentes / tolerantes a las condiciones cambiantes.” En cuanto a la selección de recursos genéticos resistentes al estrés abiótico, recomiendan poner atención en las especies de cereales nativos o desarrolladas en condiciones medioambientales críticas (Hejnak et al., 2009).

### **2.2.1. ESTRÉS HÍDRICO**

El estrés hídrico incluye dos tipos de estrés contrapuestos, que son las respuestas a la falta o el exceso de agua en las plantas. Siendo este factor el que limita la productividad de los ecosistemas naturales y principalmente agrícolas. (Gonzales, 1999 citado por Saravia, 2011).

El estrés hídrico se produce bajo dos condiciones por déficit o saturación de agua, el primero ocurre cuando la tasa de transpiración es mayor a la absorción de agua, este déficit se puede dar por baja precipitación, baja retención de agua en el suelo, alta salinidad, temperaturas extremas, baja presión de vapor atmosférico; el segundo caso causa estrés principalmente porque disminuye el intercambio de gases O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Luna et al., 2015).

### **2.2.2. ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO**

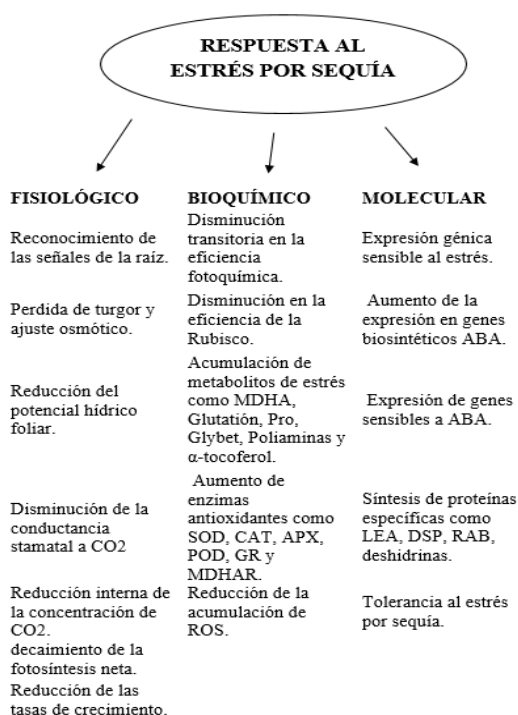
El estrés hídrico es de naturaleza multidimensional y afecta a las plantas en diferentes niveles de su organización, bajo sequía prolongada, muchas plantas se deshidratarán y muere. La sequía no solo afecta las relaciones hídricas de las plantas a través de la reducción del contenido de agua, la turgencia y el agua total, sino que también afecta el cierre de estomas, los límites intercambio gaseoso, reduce la transpiración y detiene la asimilación de carbono (fotosíntesis alterada), respiración, translocación, absorción de iones, carbohidratos, metabolismo de nutrientes y hormonas (Rahman y Hasegawa, 2012).

La falta de agua o déficit hídrico se presenta también como la tensión que actuaría sobre las plantas y produce dos tipos de respuestas, que tienden a evitar o prevenir la tensión (mecanismos evitadores), mecanismos de adaptación que permitan soportar o resistir el estrés (mecanismos de tolerancia) (Jones, 2014).

Moreno (2009) resume que muchas plantas han desarrollado respuestas que les permiten tolerar diferentes niveles de déficit de agua, que van desde un estrés hídrico leve, causado

por la disminución del potencial hídrico al mediodía, hasta aquellas que les permiten sobrevivir en hábitat desérticos. Presentándose diferentes respuestas a nivel morfológico, anatómico, celular y molecular que permiten a las plantas tolerar y adaptarse al estrés por déficit hídrico.

Estas respuestas incluyen modificaciones en el crecimiento, desarrollo del metabolismo C4 y CAM, cierre de estomas y cambios en la expresión de genes, incluyendo los que codifican proteínas potencialmente protectoras, enzimas clave en la vía de síntesis de osmolitos, enzimas antioxidantes y factores de transcripción, que regulan la expresión de genes inducida por el estrés (Figura 03).



**Figura 03. Bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares frente a la tolerancia al estrés hídrico en plantas. Fuente: Adaptado de (Shao et al., 2008 citado por Rahman y Hasegawa, 2012).**

#### a) FOTOSÍNTESIS

En respuesta al estrés hídrico las plantas difieren en varios niveles, la fotosíntesis C4 como el maíz (*Zea mays* L.) es más sensible al estrés hídrico que las plantas C3. Debido a la fijaci6n del carbono de las plantas se clasifican en C3, C4 y plantas con el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Las especies C3 fijan el CO<sub>2</sub> a través del ciclo de Calvin operante en las células del mesófilo. La fotosíntesis C4 requiere de la coordinaci6n de las funciones

de las células mesofílicas (CM) y de las células de la vaina vascular (CVV), las cuales presentan un complemento enzimático diferencial. Las plantas CAM adaptado a ambientes áridos, los estomas se cierran de día y se abren de noche; así, la fijación del carbono ocurre en un solo tipo de célula, separándose temporalmente la fijación inicial del CO<sub>2</sub> a través de la fosfoenolpiruvato carboxilasa por la ribulosa-1,5-bisfostato carboxilasa/oxigenasa (Lara et al., 2004; Moreno, 2009).

La RuBisCO es la enzima clave para el metabolismo del carbono en las hojas, actúa como una carboxilasa en el ciclo de Calvin y como una oxigenasa en la fotorrespiración bajo condiciones de estrés hídrico, se produce una disminución rápida en la cantidad de RubisCO en la mayoría de las plantas, lo que a su vez conduce a una menor actividad de la enzima, su extensión dependerá de la especie de planta. La deficiencia de agua reduce el suministro de dióxido de carbono del medio ambiente debido al cierre de estomas. En consecuencia, la fotorrespiración aumenta, lo que garantiza la reposición parcial del sustrato y mantiene la función de carboxilación de RuBisCO, el estrés hídrico puede reducir la actividad de otras enzimas fotosintéticas en diferentes grados, “como la NADP-gliceraldehído fosfato deshidrogenasa, fosfoenolpiruvato carboxilasa, NAD-dependiente malato-deshidrogenasa, fosforibulos quinasa, fructosa-1,6-bisfosfatasa y sacarosa fosfato sintasa”.

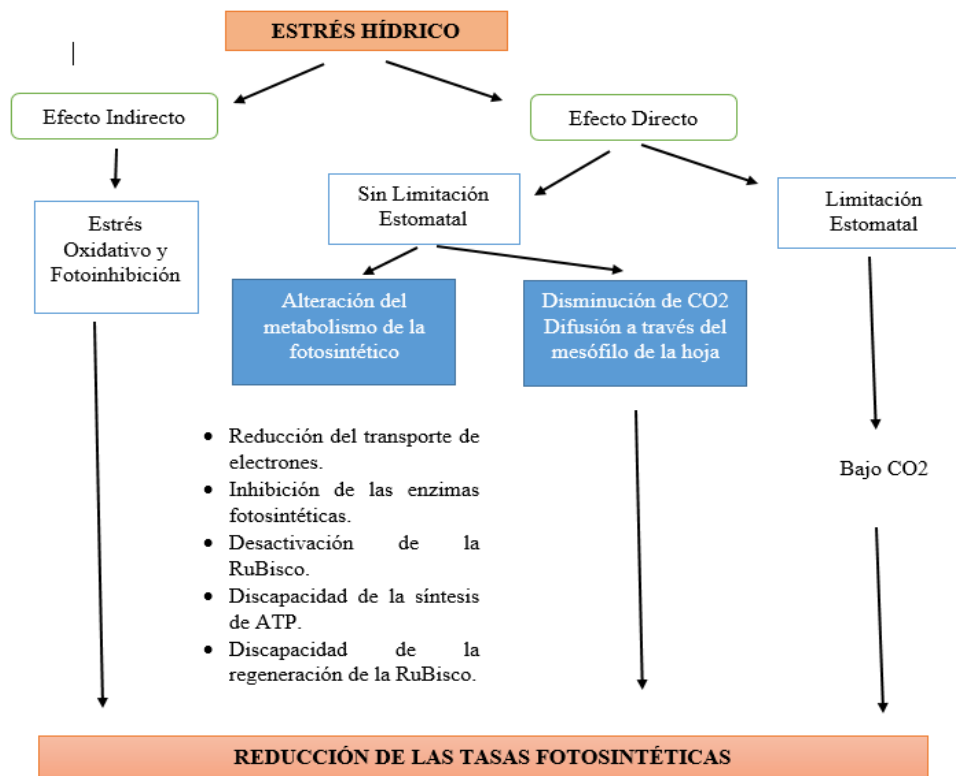
La inhibición de la ATPasa bajo deficiencia de agua también, es responsable de la reducción de los niveles de ATP en los cloroplastos. Todos estos factores afectan acumulativamente la intensidad de la fotoasimilación y la estabilidad del aparato fotosintético en condiciones de estrés hídrico. Las tasas de asimilación fotosintéticas disminuyen debido a la actividad reducida de los metabolitos fotosintéticos y las enzimas, la baja eficiencia de carboxilación e inhibición de la actividad del cloroplasto a bajo potencial hídrico.

Entre otros cofactores del estrés hídrico, el daño del aparato fotosintético a través de la producción de ROS como los radicales superóxido e hidroxilo. El estrés hídrico inhibe la síntesis de clorofila en cuatro etapas consecutivas: “(I) la formación de ácido 5-aminolevulínico (ALA); (II) condensación de ALA en porfobilinógeno y tetrapirrol primario, que se transforma en protoclorofilida; (III) conversión dependiente de la luz de protoclorofilida en clorofilida; y (IV) síntesis de clorofilas a y b junto con su inclusión en complejos pigmento-proteína en desarrollo del aparato fotosintético”. Los carotenoides son menos sensibles al estrés hídrico que la clorofila, lo que se ha demostrado para varias

especies de plantas agrícolas. Los pigmentos de xantófila como la zeaxantina y la antraraxantina tienen un papel protector en las plantas bajo estrés hídrico y algunos de estos pigmentos están involucrados en el ciclo de xantófila que tiene un papel inhibitorio en la producción de ROS (Rahman y Hasegawa, 2012).

El deterioro metabólico también puede contribuir a la disminución de la tasa fotosintética ya que, “1) En condiciones de sequía, la reducción en el volumen de cloroplasto puede conducir a la desecación dentro del cloroplasto, que a su vez conduce a cambios conformacionales en rubisco; además, la acidificación del estroma del cloroplasto debido a condiciones de sequía inhibe la actividad de la rubisco; 2) El estrés hídrico reduce la actividad de otras enzimas fotosintéticas como fosfoenolpiruvato carboxilasa, nicotinamida adenina dinucleótido fosfato-málico enzima, fructosa-1,6-bisfosfatasa y piruvato ortofosfato dikinasa; 3) La inhibición de biosíntesis de clorofila; 4) El deterioro de la síntesis de adenosina trifosfato” (Reddy et al., 2004; Vu et al., 1987; Tezara et al., 1999 citados por Montilla, 2013).

Mohammad et al. (2016) mencionan que el estrés por sequía produce efectos en la reducción y/o inhibición de la fotosíntesis, incluyendo una disminución en la tasa de expansión de la hoja, si aumentaría la temperatura de la hoja esta se deterioraría y se observa una senescencia prematura de la hoja. Las limitaciones de dióxido de carbono debido al cierre estomático, especialmente en condiciones de saturación de luz, conducen a la acumulación de componentes reducidos de transporte de electrones fotosintéticos. Pudiendo reducir el oxígeno molecular y dar lugar a la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), como los radicales superóxido e hidroxilo, así como  $H_2O_2$ , causando daños oxidativos en los cloroplastos. El ROS puede dañar el aparato fotosintético, incluidas las membranas tilacoides, los pigmentos fotosintéticos y las enzimas (Figura 04).



**Figura 04. Efecto directo e indirecto del estrés por sequía en la reducción de las tasas fotosintéticas de las plantas. Fuente: Adaptado de (Mohamma et al., 2016).**

Lara et al., (2004) realizaron un estudio en plantas C<sub>4</sub>, la familia *Portulacaceae* desarrollaron su metabolismo a plantas CAM al haber tenido problemas de estrés hídrico en el ambiente. Donde el metabolismo fotosintético operante en *P. oleracea* y *P. grandiflora* demuestran la gran plasticidad inherente a los sistemas vegetales y proveen ejemplos inusuales de finos controles de los procesos subcelulares que son llevados a cabo para lograr funciones bioquímicas muy complicadas.

La figura 5, muestra el diagrama de la planta *P. oleracea* estresadas por déficit hídrico, comparadas con un control (riego normal). Se procede a describir los cambios en ambos casos: “Separación espacial y temporal de la asimilación del carbono durante la noche se produce la fijación primaria del CO<sub>2</sub> por la fosfoenolpiruvato carboxilasa, el malato es transitoriamente acumulado en la vacuola, en el siguiente período de luz el CO<sub>2</sub> es liberado para su fijación por la fosfoenolpiruvato carboxilasa. Los números indican las enzimas involucradas: 0, anhidrasa carbónica; 1, fosfoenolpiruvato carboxilasa; 2, malato deshidrogenasa-NAD(P); 4, piruvato ortofosfato diquinasa; 5, enzima málica-NAD; 6, aspartato aminotransferasa; 7, alanina aminotransferasa; 8, fosfoenolpiruvato



## b) **NUTRICIÓN MINERAL**

El estrés hídrico afecta la nutrición mineral de las plantas y altera la homeostasis de los iones; por lo tanto, limita la disponibilidad total de nutrientes en el suelo, disminuye la absorción de nutrientes por las raíces y finalmente reduce sus concentraciones de tejido en las plantas. Es difícil identificar los efectos de la sequía en la absorción y acumulación de minerales en los órganos de las plantas, pero en general, el estrés hídrico induce un aumento de N, provoca una reducción en la concentración de P y no tiene efectos definitivos sobre la concentración de K en las plantas. Muchos investigadores también han informado una disminución en el contenido de  $\text{Ca}^{+}$  de las plantas (Montilla, 2013; Mohammad et al., 2016).

El calcio es esencial en la integridad estructural y funcional de la membrana vegetal, por ejemplo, se ha reportado disminución de aproximadamente 50% de  $\text{Ca}^{2+}$  en las hojas de maíz estresadas por la sequía, mientras que en las raíces la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  fue mayor en comparación con el control. Por otro lado, el potasio es un nutriente importante y juega un papel esencial en la relación del agua, el ajuste osmótico, el movimiento de los estomas y finalmente, la resistencia de las plantas a la sequía. El metabolismo del nitrógeno es el factor más importante que influye en el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Algunos estudios mostraron la reducción de la absorción de nitrato y la disminución de la actividad de nitrato reductasa bajo estrés hídrico (Rahman y Hasegawa, 2012).

## c) **CONTENIDO DE PROTEÍNA, AMINOÁCIDOS Y MINERALES**

Las condiciones de sequía provocan cambios cuantitativos y cualitativos en las proteínas vegetales, las proteínas en la planta dejan una disminución durante la deficiencia de agua debido a la síntesis suprimida, más pronunciada en las plantas C3 que en las C4. El estrés hídrico altera la expresión génica en consecuencia, la síntesis de nuevas proteínas y ARNm. Los 2 tipos de proteínas principales incluidas por diferentes tipos de estrés: Las proteínas de choque térmico (Hsps) y Late Embryogenesis Abundant (LEA), la presencia de estas proteínas LEA se relaciona con la respuesta de las plantas al estrés por su hidrofiliidad. La protección de macromoléculas tales como enzimas, lípidos y ARNm contra la deshidratación son funciones bien conocidas de estas proteínas.



Los Hsps actúan como chaperonas moleculares y son responsables de la síntesis, focalización, maduración y degradación de proteínas en muchos procesos celulares. También, tienen papeles importantes en la estabilización de proteínas y membranas, ayudan al replegamiento de proteínas en condiciones de estrés. La expresión de genes de tipo LEA bajo estrés osmótico está regulada por vías de señalización independientes y dependientes de ABA. Los genes que codifican las proteínas de tipo LEA son diversos: “genes RD (responden a la deshidratación), ERD (respuesta temprana a la deshidratación), KIN (inducible por frío), COR (regulado por frío) y RAB (responden a ABA)” (Amara, 2011; Rahman y Hasegawa, 2012).

“Las proteínas LEA, las proteasas, las enzimas necesarias para la biosíntesis de diversos compuestos osmóticos compatibles (osmoprotectores), enzimas involucradas en la desintoxicación de ROS: Superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasa (POD), ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reductasa (GR) y factores proteicos involucrados en la regulación de la transducción de señales y la expresión génica, aumentan bajo el estrés por sequía”. La acumulación de solutos compatibles osmoprotectores proporcionan regulación y ajuste osmótico, es un mecanismo bien conocido para la resistencia de las plantas a la sequía y a otros tipos de estrés como la salinidad. Además, los solutos compatibles regulan el equilibrio osmótico entre la vacuola y el citosol, que mantienen la presión de turgencia, el contenido de agua de las células y la protegen contra la pérdida de agua de las plantas debido a su alta lipofilia. Además, podrían reemplazar las moléculas de agua alrededor de los ácidos nucleicos, las proteínas (como las enzimas) y las membranas durante la escasez de agua. La prolina es uno de los aminoácidos conocidos como osmoprotectores.

La sequía aumenta los niveles de prolina celular de dos maneras: aumentando la síntesis de prolina y disminuyendo la actividad de las enzimas involucradas en su degradación. Conducen a un menor potencial hídrico de las células, que ayudan a la absorción de agua del suelo en condiciones de sequía. Además, la prolina protege los componentes celulares del estrés oxidativo, su proceso de biosíntesis y degradación juegan un papel importante en el equilibrio de la energía entre los cloroplastos y las mitocondrias.

Durante las rutas de generación y destrucción de prolina, el NADPH/H<sup>+</sup> se oxida a NADP<sup>+</sup> en el cloroplasto y NAD<sup>+</sup> se reduce a NADH/H en la mitocondria. La oxidación del NADPH/H<sup>+</sup> reduce la generación de ROS debido al excesivo consumo de electrones. Además, la reducción de NADH/H<sup>+</sup> es necesaria para el suministro de energía para las células, así como para los procesos de recuperación después del estrés.

Existen reportes de otros solutos osmoprotectores compatibles y se dividen en cuatro grupos: “(1) azúcares, incluidos los monosacáridos (Fructosa y glucosa) y los di y oligo-sacáridos (Sacarosa, trehalosa y rafinosa); (2) aminoácidos (prolina y citrulina); (3) compuestos de amonio, incluyendo amonio terciario y cuaternario, así como compuestos de sulfonio (glicina-betaína y propionato de 3-dimetilsulfonio); y (4) polioles y alcoholes de azúcar (manitol, glicerol y sorbitol)”. Además de los compuestos compatibles, en algunos casos las plantas acumulan minerales específicos como el NaCl para mantener el potencial hídrico intracelular. Aunque la acumulación de minerales no siempre es compatible con el metabolismo, algunas plantas, como las halófitas, acumulan algunos minerales y son resistentes a sus daños debido a mecanismos específicos. Generalmente, las plantas acumulan minerales en la vacuola y compuestos compatibles en el citosol para equilibrar el potencial hídrico de los dos compartimentos (Mohammad et al., 2016).

#### d) **LÍPIDOS**

El estrés por sequía provoca una alteración en la asociación entre los lípidos de membrana y las proteínas, así como disminuye la actividad enzimática unida a la membrana y la capacidad de transporte de la bicapa. El monogalactosildiacilglicerol (MGDG) es un glicolípido foliar importante que disminuye después de la exposición de la planta a la sequía. La disminución del contenido MGDG conduce a la destrucción de la membrana del cloroplasto y afecta negativamente a la fotosíntesis (Mohammad et al., 2016). La variación de la composición de ácidos grasos, por ejemplo, un aumento de ácidos grasos que tienen menos de 16 carbonos en cloroplastos. La peroxidación lipídica es el efecto de la sequía (Rahman y Hasegawa, 2012).

#### e) **HORMONAS**

Las hormonas juegan un papel clave en la regulación de los procesos de la planta, algunas de ellas están involucradas en las interacciones de las plantas con el estrés como la sequía. El ácido abscísico (ABA) es una de las hormonas más efectivas en la respuesta de las plantas al estrés por sequía. El ABA se sintetiza en las raíces y se transloca a los brotes, especialmente las hojas. Además, el estrés hídrico induce la síntesis de ABA en los cloroplastos.

La actividad de la ATPasa de la membrana plasmática (PM-ATPasa) disminuye en condiciones de déficit de agua debido a un menor suministro de ATP por fotosíntesis y respiración; por lo tanto, aumenta el pH en el apoplasto (vía pared celular) y conduce a la conversión de ABA a su forma aniónica (ABA<sup>-</sup>). ABA<sup>-</sup> no puede cruzar la membrana plasmática de las células de la hoja y se transloca hacia las células superiores de los estomas por una corriente de transpiración en el apoplasto de la hoja (Rahman y Hasegawa, 2012; Sánchez et al., 2015).

ABA también participa en la regulación de la actividad de la acuaporina (AQP, proteína de la membrana transporta agua a través de las células). Es bien sabido que la acumulación de ABA en condiciones de sequía reduce la producción de etileno (responsable del crecimiento y maduración de las frutas). ABA induce la acumulación de proteínas LEA, que están involucradas en la adaptación de la planta al estrés por sequía, especialmente en las semillas, en contraste, las auxinas actúan reguladores negativos de la tolerancia a la sequía en las plantas porque la regulación por disminución del ácido indolacético (IAA, es una auxina, hormona vegetal) facilita la acumulación de LEA en ARNm.

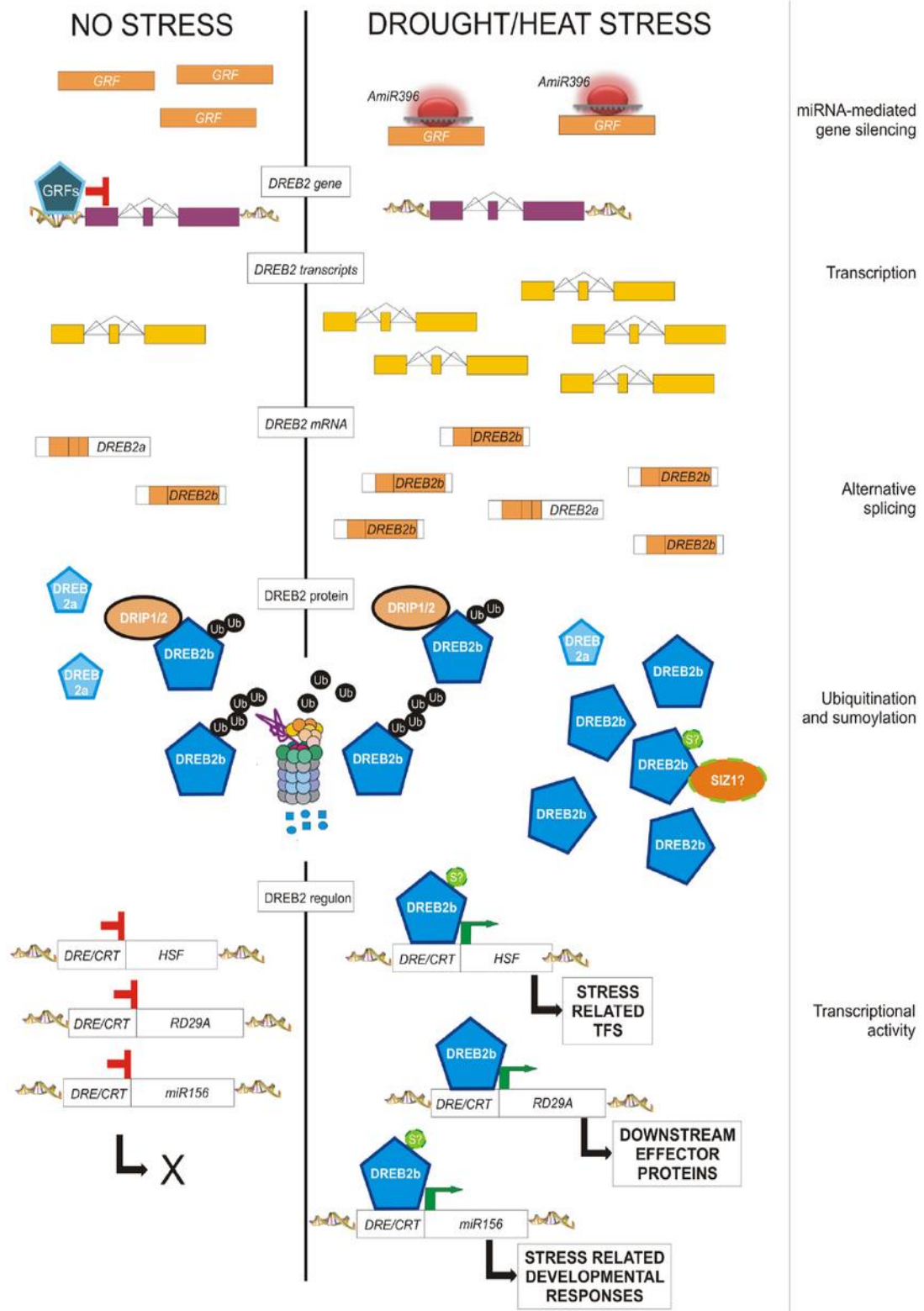
Por otro lado, los niveles de citoquinina endógena (zeatina) y giberelina (GA3) de las plantas disminuyen rápidamente en situaciones de estrés hídrico (La citoquinina retrasan la senescencia y la giberelina promueve el crecimiento y elongación celular). La sequía también conduce a un aumento en la acumulación de brasinoesteroides (BR) en las plantas, estos aumentan la absorción de agua y la estabilidad de las membranas celulares y también pueden reducir la fuga de iones de la membrana en condiciones de estrés por sequía (Mohammad et al., 2016).

f) **MOLECULAR**

Muchos patrones de expresión génica cambian cuando las plantas están expuestas a la sequía o calor u otros estreses ambientales. Primero, la expresión de los genes involucrados en las respuestas tempranas, viendo cambios en la transducción de señales, transcripción y fases de traducción; seguido, de cambios en la expresión de genes involucrados en respuestas tardías, como el transporte de agua, el equilibrio osmótico, el estrés oxidativo y daño en el proceso de reparación.

La detección de sequía y la transducción de señales se une estrechamente con la transducción de señal ABA que da lugar a genes inducidos por la sequía. La expresión del gen vegetal se controla a diferentes niveles, incluidas las fases: transcripcional, postranscripcional, traduccional y postraduccional. Aparentemente, la regulación de los mecanismos de respuesta de la planta al estrés por sequía, se controla en dos niveles: el transcripcional y el traduccional. Los análisis bioinformáticos han identificado varios factores de transcripción (TF) inducidos bajo estrés por sequía (Mohammad et al., 2016; Guerra et al., 2015).

Los TFs se clasifican en varias familias, incluidas MYB / MYC (Activador transcripcional), los dedos de zinc (iones de Zinc como dedos que unen ADN, ARN, proteínas y moléculas) y NAC (secuencia de reconocimiento de nucleótidos). La investigación en biología molecular ha demostrado que las plantas responden al estrés no solo en el nivel de ARNm o proteína de las células, sino también en la fase postranscripcional de los microARN (miARN) son una clase de ARN pequeños que se reconocen como moduladores importantes de la expresión génica a nivel postranscripcional. Estudios han demostrado que estas moléculas de miARN están involucradas en respuestas que median con ABA, señalización de auxina, crecimiento celular, defensa antioxidante, ajuste osmótico, fotosíntesis y respiración bajo sequía (Figura 06).



**Figura 06.** Principales tipos de modificaciones postranscripcionales y protraduccionales que afectan la respuesta molecular a estrés por sequía y calor. Fuente: (Guerra et al., 2015).

#### g) **RELACIÓN PLANTA – AGUA**

Bajo estrés hídrico provocado por diversos factores medio ambientales, el contenido relativo de agua (RWC), el potencial hídrico de la hoja, la resistencia estomática, la tasa de transpiración, la temperatura de la hoja y la temperatura del dosel (obtenida por termometría infrarroja) son factores importantes en las relaciones planta-agua. Un bajo RWC disminuye el potencial de agua de la hoja y conduce al cierre estomas.

Una mayor resistencia estomática disminuye la velocidad de transpiración y finalmente conduce a aumentos en la temperatura de la hoja. Un aumento en la resistencia del estoma es una razón importante para una temperatura alta de la hoja, especialmente cuando la intensidad de la luz es alta. En estudios se reporta, un efecto de retroalimentación positiva entre la temperatura de la hoja y la resistencia estomática. Las temperaturas más altas de las hojas pueden conducir a la desnaturalización de las proteínas, especialmente las enzimas, y los cambios en la flexibilidad de la membrana, que pueden influir en diferentes aspectos del metabolismo (Mohammad et al., 2016).

La sequía conduce a una disminución notable en el potencial hídrico de las hojas y el RWC, con un aumento de la temperatura de las hojas en las plantas de trigo. El cambio en la temperatura de la hoja puede ser un factor importante para controlar el estado de la hoja bajo estrés hídrico, estudios han asociado el aumento de la resistencia estomática o su opuesto la disminución de la conductancia estomática, como respuesta al déficit hídrico en los cereales.

Los estomas se cierran en respuesta al estrés hídrico antes de que cualquier cambio en el contenido de agua de la hoja fuera detectable, esto se atribuye a la señalización de raíz a hoja del ácido abscísico (ABA) promovida a medida que el suelo se seca (Siddique et al., 2000; Otoole y Cruz, 1980 citado por Montilla, 2013).

#### h) **ESTRÉS OXIDATIVO**

Cuando los estomas se cierran durante el estrés hídrico, un desequilibrio entre el exceso de la luz incidente y el CO<sub>2</sub> disponible para la reducción conduce a la generación de ROS. “En condiciones de exceso de fotones, el flujo de electrones cíclicos a través del fotosistema PSI o PSII regula la baja del rendimiento cuántico. Sin embargo, si hay más excitación de la que se puede procesar, se produce la fotoinhibición y se producen especies altamente reactivas.

En la PSII, el oxígeno singlete altamente reactivo (átomo de oxígeno excitado) se puede producir a través de triplete clorofila P680. En PSI, baja la concentración de NADP<sup>+</sup>, FD reducirá O<sub>2</sub> en lugar de FNR produciendo O<sub>2</sub><sup>-</sup>, el que se dismuta en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y dioxígeno, en una reacción catalizada por la superóxido dismutasa” (Foyer y Noctor, 2000; Asada, 2006; Krieger-Liszkay, 2005; Cruz et al., 2005 citados por Montilla, 2013).

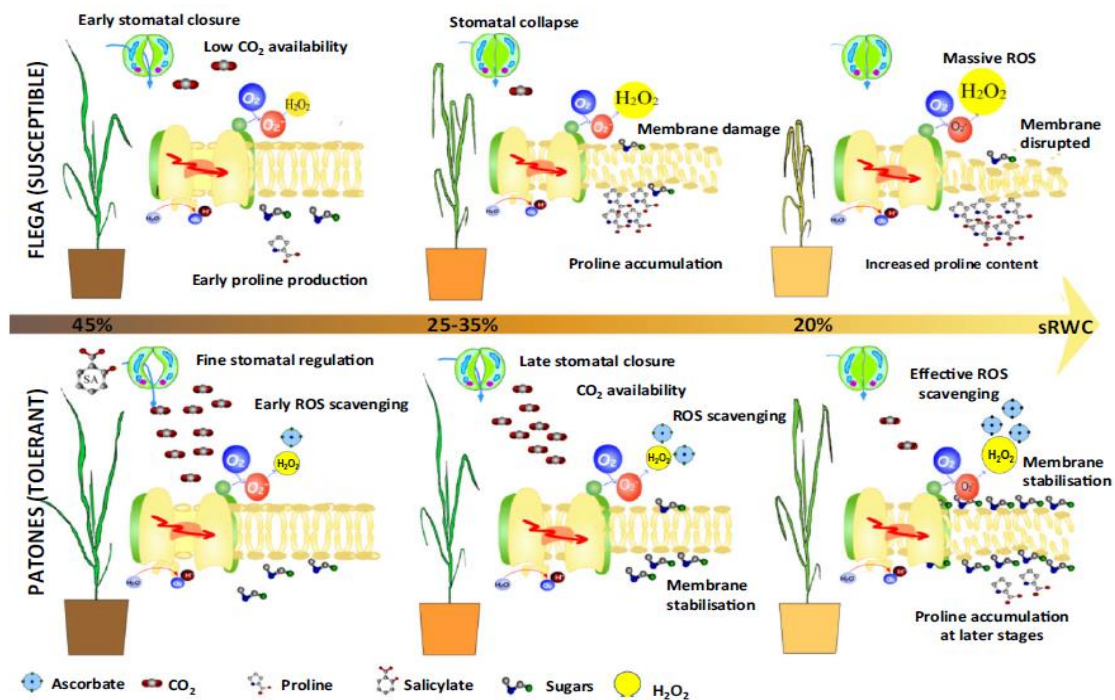
Al estrés oxidativo se le conoce como estrés secundario y causa daño oxidativo en las células, la exposición de las plantas a mucho estrés ambiental conduce a la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), incluyendo radicales superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), radical hidroxilo (OH), peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), radicales alcoxi (RO) y oxígeno singlete (átomo de oxígeno excitado). ROS, puede reaccionar con proteínas, lípidos y otras macromoléculas importantes, puede desnaturalizar la estructura y función de las macromoléculas. Muchos compartimentos celulares producen ROS bajo estrés por sequía, como cloroplastos, mitocondrias, peroxisomas y otros.

Las plantas han desarrollado algunos mecanismos para evitar el daño por ROS. Todos estos mecanismos forman un sistema de defensa antioxidante, enzimáticos y no enzimáticos, para buscar estos compuestos tóxicos “Entre las enzimas antioxidantes se encuentran: las catalasas (CAT), superóxido dismutasa (SOD), peroxidasas (POD), ascorbato peroxidasas (APX), glutatión reductasa (GR) y monodehidroascorbato reductasa (MDAR) son prominente. Además, hay moléculas antioxidantes como el ácido ascórbico (AA), glutatión, tocoferoles, flavanonas, carotenoides y antocianinas. Otros compuestos como osmolitos (prolina), proteínas (peroxiredoxina) y moléculas anfifílicas (tocoferol).

Los antioxidantes vegetales no enzimáticos algunos son compuestos multifuncionales: “AA puede reaccionar con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, OH<sup>-</sup> y las hidropoxidasas lipídicas, actúa como cofactor enzimático y como donante/aceptor de electrones” (Rahman y Hasegawa, 2012; Mohammad et al., 2016).

En un estudio realizado a nivel metabólico proponen un modelo integrado para la tolerancia a la sequía en avena, que destaca la relevancia del momento y la modulación fina de las respuestas a la sequía. Se utilizaron dos variedades de avena (*Avena sativa*) una tolerante a la sequía (Patones) y la otra susceptible (Flega) las siguientes descripciones pertenece a la (Figura 07). “La variedad Patones modulan un cierre de estomas fino y con ello la aparición

del ácido salicílico que evita la pérdida de agua y deterioro fotosintético y aumento del ROS, que será eliminado por las rutas antioxidantes y fotorespiratorias relacionadas con el ascorbato AA. En cambio, la variedad Flega su cierre de estomas es rápido y agresivo junto con una baja o tardía inducción a las vías fotorespiración y antioxidante podría provocar un aumento de ROS, dañando el aparato fotosintético, el daño temprano de la membrana celular en este genotipo podría generar una acumulación temprana de prolina” (Sánchez et al., 2015).



**Figura 07. Modelo integrado de la tolerancia a la sequía en 2 cultivares de avena Patones (tolerantes) y Flega (Susceptible). Fuente: (Sánchez et al., 2015).**

### i) MORFOLÓGICO Y ANATÓMICO

La sequía puede influir en las características morfológicas y anatómicas de las plantas como: hojas, tallos y raíces reduciéndose considerablemente la biomasa total (Mohammad et al., 2016).

El déficit hídrico ocasiona cambios en el crecimiento como la reducción de la altura y menor expansión del área foliar, también en la reducción del número de macollos, número de panícula y llenado de grano que afectan el rendimiento de los cultivos (Montilla, 2013).



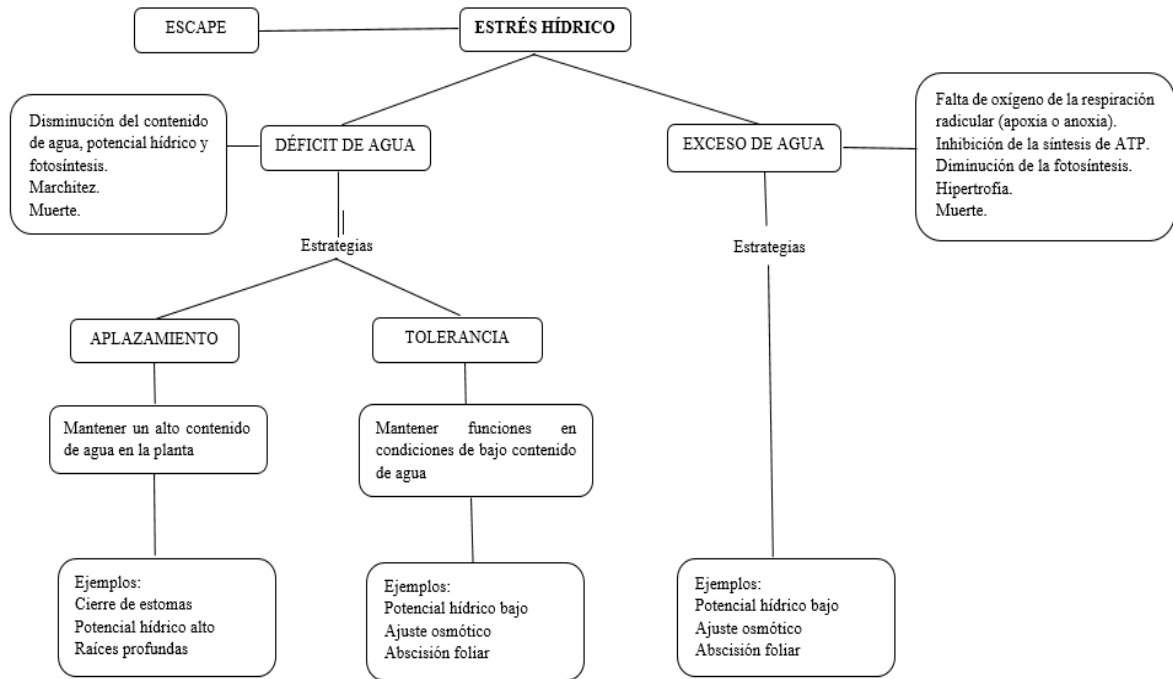
También se observa crecimiento de tallos y raíces, reducción del diámetro el tallo y biomasa (Luna et al., 2015).

El ensanchamiento, diferenciación y división celular son fenómenos involucrados en el crecimiento de las plantas, influenciados por el estrés hídrico y/o sequía, donde el agua es una fuerza física importante en el agrandamiento celular y deterioro de la mitosis, se reporta una disminución de la altura, área foliar, rendimiento de los cultivos, así como la reducción de flores y el relleno de grano se ve afectada (Sánchez, 2012 y Montilla, 2013).

Se observa también cambios en la anatomía de las hojas, contracción en el tamaño de las hojas, disminución en el número de estomas, paredes celulares gruesas, bajo condiciones de estrés hídrico también se observó disminución en el crecimiento de la hoja, área total de la hoja y la plasticidad en muchas especies, también muestran enrollamiento de las hojas en cereales, la inducción a la senescencia temprana, aumento de la relación raíz-brote, disminución en la longitud de los tallos hasta un 25% menos en cítricos, como consecuencia, la disminución de la biomasa vegetal y rendimiento. Sin embargo, existen algunas excepciones de plantas, donde se informó un mayor rendimiento bajo la condición de estrés hídrico (Rahman y Hasegawa, 2012).

### **2.3. MECANISMOS DE ADAPTACIÓN AL ESTRÉS HÍDRICO**

La estrategia de un cultivo es la capacidad para crecer satisfactoriamente en zonas sujetas a déficit hídrico, las modificaciones en la estructura y función de las plantas le permiten aumentar la probabilidad de que pueda sobrevivir y reproducirse en un ambiente determinado se llama adaptación. En esas condiciones, los siguientes autores (Luna et al., 2015; Inga, 2017; Gonzales, 2001) han considerado tres mecanismos de adaptación de las plantas relacionados con el estrés hídrico: escape, aplazamiento o evasión y tolerancia (Figura 08).



**Figura 08. Estrategias de las plantas frente al estrés hídrico. Adaptado de (Luna et al., 2015).**

**a) ESCAPE**

Es la capacidad de las plantas para completar su ciclo de vida y alcanzar a reproducirse antes que el déficit hídrico del suelo y de la planta sea severo. Para los cereales que crecen en climas de tipo Mediterráneo, adecuar la fenología a la disponibilidad de agua es la vía principal por la que se ha mejorado el rendimiento en ambientes donde la precipitación es escasa (Acevedo et al., 1988 citado por González, 2001; Montoliu, 2010).

Las plantas pueden completar su ciclo de vida antes que el estrés por sequía sea severo: Floración temprana, refiere a cuando la planta logra terminar su ciclo fenológico con periodos cortos aprovechando la disponibilidad de agua en el suelo. Vigor temprano, cuando los cultivos tempranamente llegan a la germinación ejemplo la avena tiene una aparición a pocos días de la siembra, logrando ser competitiva con otras especies (Sánchez, 2012 y Montilla, 2013).

En ensayos con trigo y cebada se ha comprobado una mejor adaptación a condiciones de estrés de los genotipos con madurez temprana, lo que indujo a los mejoradores a seleccionar genotipos con floración precoz. Por otra parte, es evidente, que utilizar el criterio de escape

a la sequía como solución, sacrifica algo del rendimiento potencial para mejorar la estabilidad del rendimiento en condiciones de estrés (Araus et al., 2002; Slafer et al., 1994 citado por Inga, 2017).

#### **b) APLAZAMIENTO**

El aplazamiento de la deshidratación se define como la capacidad de las plantas para mantener un potencial hídrico relativamente alto en condiciones de estrés hídrico atmosférico o del suelo. La base de este mecanismo es mantener niveles de hidratación altos en los tejidos a pesar del estrés ambiental, de modo que los procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos de la planta que están involucrados en el crecimiento y rendimiento no están internamente expuestos al estrés, sino que están temporalmente protegidos (González, 2001; Montoliu, 2010).

El aplazamiento o también llamado evitación, incluyen a las plantas que poseen mecanismos para evitar (o postergar) la deshidratación. Es una estrategia para aumentar la capacidad de las plantas ahorradoras, para minimizar las pérdidas de agua por diversas vías, tales como el cierre estomático y la disminución de la transpiración cuticular. Dentro de esta misma estrategia conservadora podrían incluirse las plantas que producen menos biomasa aérea al sufrir déficit hídrico, aumentando por ende la proporción relativa de masa radicular (Nilsen y Orcutt, 1996 citado por Inga, 2017)

Es la capacidad de evitar daños manteniendo alto el contenido de agua en el tejido de las plantas por: Cierre de estomas, presencia de tricomas, ceras y cutícula gruesa, ángulo empinado de la hoja, maximiza la absorción de agua desarrollando un sistema de raíces muy adaptado a la sequía (Sánchez, 2012 y Montilla, 2013).

#### **c) TOLERANCIA**

El término tolerancia, se refiere a la capacidad de resistir en forma reversible la deshidratación de los tejidos, aunque el ejemplo extremo de esto son las llamadas plantas poiquilohídricas, plantas mediterráneas que son capaces de soportar un alto grado de deshidratación de sus tejidos (Munné-Bosch y Alegre, 2000 citado por Inga, 2017).

La tolerancia a la deshidratación es la capacidad de las plantas para reducir la actividad química del agua, concentrar solutos, macromoléculas y producir modificaciones en la membrana celular (Montoliu, 2010). Las membranas celulares son imprescindibles para mantener las actividades metabólicas de la célula, la deshidratación celular causa importantes desórdenes en su estructura, por lo que el mantenimiento de la integridad y función de las membranas bajo un nivel de estrés por deshidratación determinado puede tomarse como una medida de tolerancia, siempre que todas las plantas estén sujetas al mismo tipo de estrés (González, 2001).

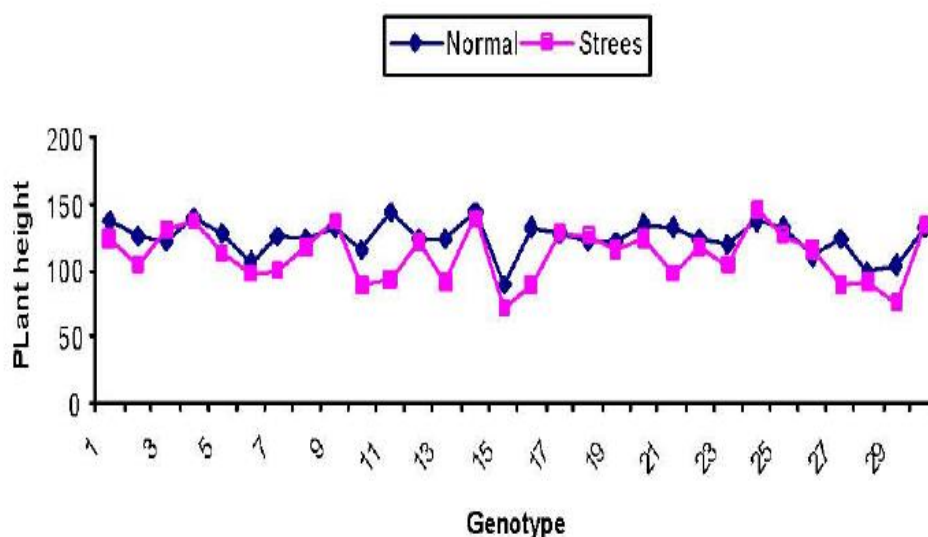
#### **2.4. INDICADORES DE ESTRÉS**

Las plantas experimentan diversos cambios fisiológicos, bioquímicos y moleculares muy complejos en respuesta a la tolerancia del estrés por déficit hídrico, estos cambios se hacen fehacientes a nivel morfológico en el crecimiento y desarrollo, pudiéndose evaluar a través de indicadores de estrés (Jaleel et al., 2009).

##### **a) ALTURA**

La altura en gramíneas está determinada por la disponibilidad de agua, variando en 40 cm entre la época seca y de lluvia (Sosa et al., 2008).

En estudios realizados en trigo, muestran promedios de interacción entre los genotipos y el medio ambiente (condiciones de riego normales y estresados por déficit de agua), (Figura 09) la mayoría de los genotipos estresados tienen menor altura. Por otro lado, la selección de genotipos está orientado a plantas que presentan mayor altura en condiciones normales como estresadas por déficit hídrico; para los investigadores el mejor genotipo fue el número 24 seguido por el 14 los cuales obtuvieron mejor altura (Khayatnezhad et al., 2010).



**Figura 09. Comparación de promedios de altura de 30 genotipos en condiciones de riego normales y estresadas. Fuente: (Khayatnezhad et al., 2010).**

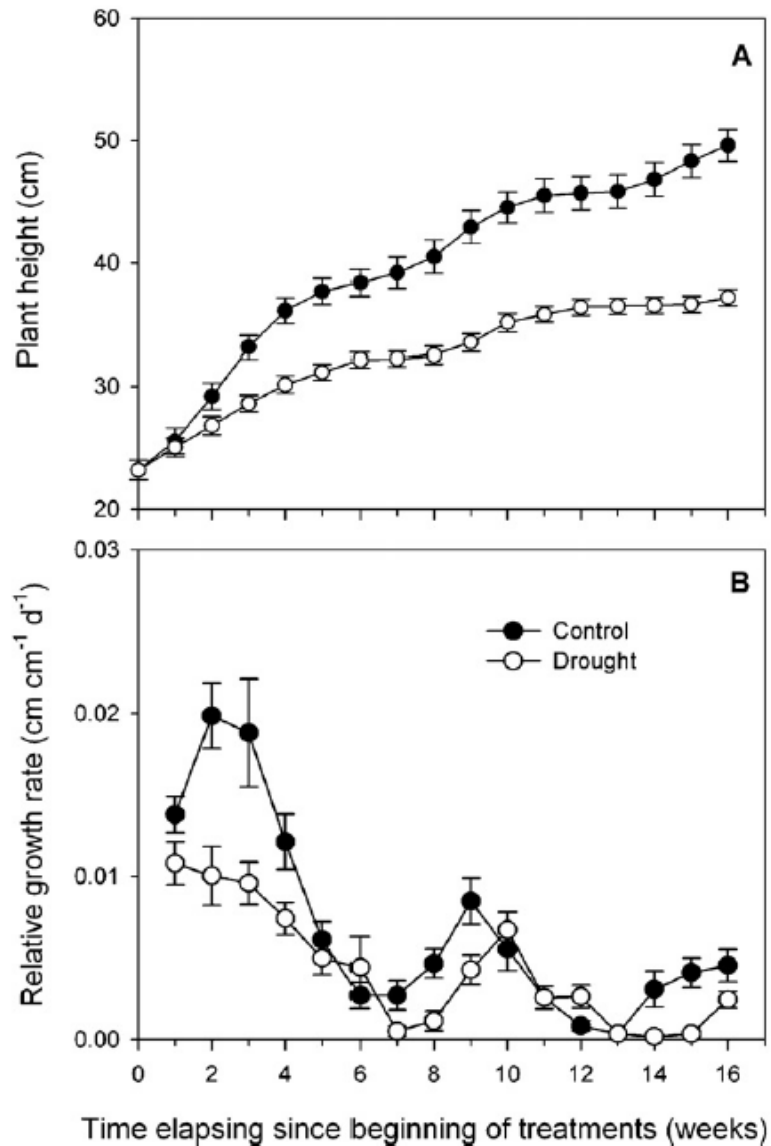
La siguiente (Tabla 05) describe las características de 37 genotipo de trigo, donde la altura decrece en condiciones de estrés en un 15.6 % comparado con el control y la heredabilidad para esta característica está por encima del 90% (Ahmadizadeh et al., 2011).

**Tabla 05. Rango, promedio, % de decrecimiento y heredabilidad de las características de los genotipos evaluada a 2 condiciones de riego.**

Características	Riego	Rango	Promedio	Decrecimiento (%)	Heredabilidad (H <sup>2</sup> B.%)
N° tallos	normal	4	5.62±0.11	16.6	47.69
	estrés	3	4.68±0.08		52.86
Tallos fértiles por planta	normal	5	4.09±0.11	31.2	69.98
	estrés	4	2.81±0.07		61.47
Altura	normal	91.3	98.2±2.12	15.6	94.53
	estrés	82.2	82.9±1.93		96.13
N° de granos por espiga	normal	56.8	39.1±1.49	13.5	92.14
	estrés	50	33.8±1.38		87.54
Peso de mil granos	normal	57.1	62.2±1.13	12	76.32
	estrés	48.9	58.2±0.95		64.89
Rendimiento de grano	normal	3.52	4.63±0.07	15.8	54.46
	estrés	3.2	3.89±0.06		58.38
Índice de cosecha	normal	60.2	21.5±0.93	-26.1	55.71
	estrés	75.4	27.1±1.33		73.81

Fuente: (Ahmadizadeh et al., 2011).

El *Callistemon* que es una planta Australiana ornamental en la (Figura 10), se muestra un estudio bajo estrés por sequía cuyos tratamientos fueron riego normal o control (100% CC) y riego bajo estrés hídrico (40% CC), redujeron significativamente la altura de las plantas estresadas (Álvarez et al., 2011).



**Figura 10. A:** altura de planta, **B:** tasa relativa de crecimiento, en plantas de *Callistemon* bajo riego control (100% CC) y estrés hídrico (40% CC). Fuente: (Álvarez et al., 2011).

## b) RENDIMIENTO FORRAJERO

El estrés hídrico afecta negativamente la cantidad y calidad del rendimiento de la planta, especialmente de los cultivos (Mohamad et al., 2016), también afecta el peso fresco y seco. Por lo tanto, el rendimiento es un indicador para la selección de variedades o líneas con alta producción, teniendo la oportunidad de discriminar cultivos con bajos rendimientos a determinadas condiciones de estrés (Kozlowski, 1976).

La mayoría de los estudios realizados en cereales se enfoca en el mejoramiento del rendimiento del grano; sin embargo, se reporta los promedios de la interacción de 30 genotipos de trigo con el medio ambiente (condiciones de riego normales y estresados), la mayoría de los genotipos estresados muestran una biomasa inferior en comparación con las condiciones normales, con algunas excepciones como se muestra en la (Figura 11), los genotipos 6 y 7, en condiciones de riego normal muestran rendimiento mucho menor que en condiciones de estrés. Sin embargo, la selección de genotipos está orientado a planta que presentaron mayor biomasa en condiciones normales y estresadas por déficit hídrico; para los investigadores el mejor genotipo fue el 22 (Khayatnezhad et al., 2010).

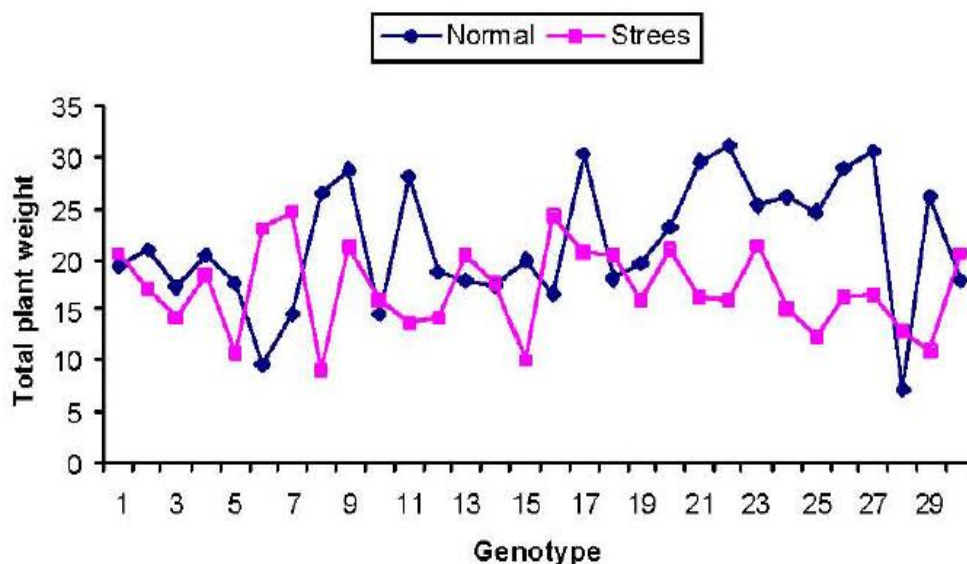


Figura 11. Comparación de promedios de la biomasa de 30 genotipos en condiciones de riego normales y estresadas. Fuente: (Khayatnezhad et al., 2010).

### c) **EXPANSIÓN FOLIAR**

Para esta característica existen diversas formas de poder ser evaluadas según autores (De la Casa, 2013; Irigoyen, 2018): cobertura total, cobertura verde, área foliar por hoja, planta o metro cuadrado, valiéndose de método destructivos y no destructivos.

#### - **COBERTURA**

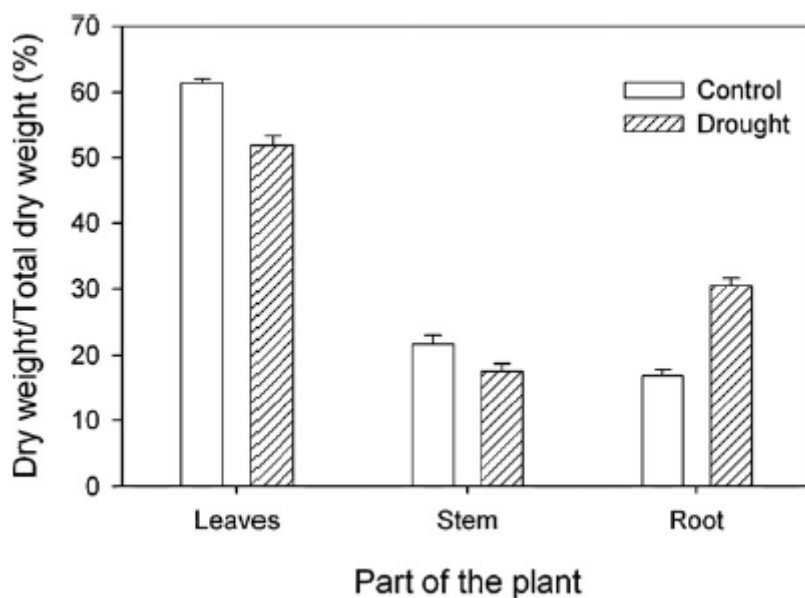
En los últimos años la estimación de la cobertura aérea o cobertura del cultivo (CC) a partir de procedimientos digitales, utilizando cámaras convenciones (imágenes de color verdadero RGB) y modificadas (generan NDVI, y otros índices), se han considerado apropiadas para detectar diferencias entre la cobertura de los cultivos, generando comparaciones en diversas etapas fenológicas, evaluar la senescencia, respuestas asociada con la fertilidad u otros estreses al que están expuestos los cultivos (De la Casa et al., 2013 y De la Casa et al., 2012).

La disminución de la expansión foliar a causa del estrés hídrico induce la senescencia temprana de las hojas (Rahman y Hasegawa, 2012). La cobertura del dosel verde, es una característica crucial de AquaCrop, su expansión, envejecimiento y senescencia, expresa la cantidad de follaje en términos de cobertura del dosel (en fracción o porcentaje) y no como el índice de área foliar (LAI). Esto da como resultado una simplificación considerable de la simulación y permite al usuario introducir valores reales de CC, incluso si sólo se estiman de manera visual. Además, la CC se puede obtener fácilmente a través de teledetección (FAO, 2012).

#### - **ÁREA FOLIAR**

Según Álvarez et al. (2011) la figura 12 y la tabla 06, el estrés por sequía altera significativamente el crecimiento y desarrollo del *Callistemon* a nivel de planta hoja, tallo y raíz. Donde la materia seca total se redujo en un 47% en las plantas estresadas por déficit hídrico; además, el área total de la hoja y el número de las hojas disminuyeron en un 41 y 50% respectivamente comparadas con el control.





**Figura 12. Promedio de la materia seca de las hojas, tallos y raíces de las plantas de *Callistemon* en condiciones normales de riego (control) y sequía. Fuente: (Álvarez et al., 2011).**

**Tabla 06. Indicadores de desarrollo de las plantas de *Callistemon*, bajo control y estrés hídrico.**

Parámetros	Tratamientos		Significancia
	Control	Estrés	
Peso seco total (gr planta <sup>-1</sup> )	51.01±2.03	24.36±0.30	***
Relación Raíz planta <sup>-1</sup>	0.2±0.01	0.42±0.02	***
Número de hojas	444±51.7	224±15.5	**
Área total de la hoja (cm <sup>2</sup> )	2913.7±125.0	1183.0±55.9	***
Fuga total de iones (%)	23.96±0.04	34.19±0.07	*
Fv/Fm	0.79±0.06	0.81±0.03	ns

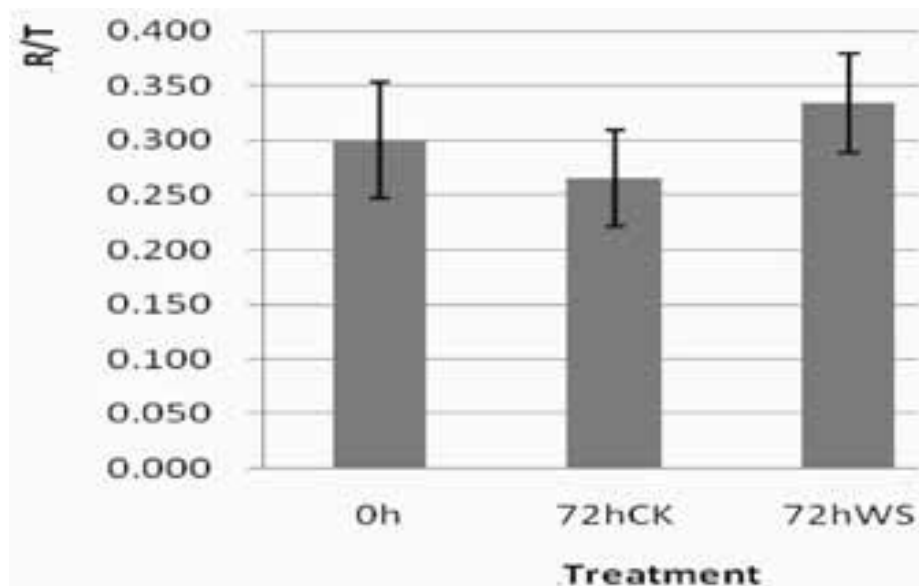
\* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001. Fluorescencia de clorofila (Fv/Fm).

Fuente: (Álvarez et al., 2011).

#### d) CRECIMIENTO DE RAÍCES

El desarrollo de la raíz y la capacidad de las plantas de absorber agua están fuertemente relacionados. La anchura, profundidad y la ramificación del sistema de raíces se incrementa a medida que el estrés hídrico es más severo. También se reportó una estrecha relación entre el desarrollo de las raíces y el rendimiento (grano) bajo condiciones de estrés, motivo por el cual es una característica importante de selección de genotipos en programas de mejoramiento genético (Kozlowski, 1976).

Zhang et al. (2009) mencionan que en el estado de plántula el contenido de agua en la raíz (RWC) fue más alto que el contenido de agua en la hoja (LWC) y la pérdida de agua en la hoja (LWL) es mayor que la pérdida de agua en la raíz (RWL) en la mayoría de los cultivares de trigo evaluados. Además, en la figura 13 después de 72 horas de estrés hídrico en plántulas de trigo, la relación raíz planta<sup>-1</sup> es menor que el control y del inicio del tratamiento (0h) en plántulas de triticale en la etapa fenológica de 3<sup>ra</sup> hoja y sometidas a estrés por déficit hídrico por 72 horas.



**Figura 13. Efecto del estrés por déficit hídrico en la relación raíz planta<sup>-1</sup> en trigo. 0h = inicio del tratamiento, 72hCK= 72 horas después del estrés hídrico, 72hWS= 72 horas después control. Fuente: (Zhang et al., 2009).**

La relación raíz brote<sup>-1</sup> se incrementa bajo condiciones de estrés, facilitando la absorción de agua, además esta relación está vinculada con el contenido ABA (Rahman y Hasegawa, 2012). Para el caso del arroz la relación raíz planta<sup>-1</sup> aumentó significativamente bajo condiciones de estrés hídrico comparadas con el control (Xu et al., 2015).

En la tabla anterior 05 reporta incremento en la relación raíz planta<sup>-1</sup>, las que fueron sometidas bajo estrés hídrico. En la (Tabla 07) los cambios fueron significativos en la morfología de la raíz: 27% de disminución en la longitud total de la raíz, incremento de las raíces finas y disminución de las raíces gruesas superiores a 0.5 mm, el volumen de las raíces se han reducido; aunque el peso seco de la raíz no se modificó con el resultado del incremento de la densidad de las raíces estresadas (Álvarez et al., 2011).

**Tabla 07. Morfología de la raíz en plantas de *Calistemon* bajo riego normal (control) y estrés hídrico.**

Parámetros	Tratamientos		Significancia
	Control	Estrés	
Longitud total raíz (cm)	3556±151	2595±154	**
L <sub>0</sub> < 0.5 mm(%)	49.28±0.02	55.33±0.01	*
L <sub>0.5</sub> < 2.0 mm(%)	38.09±0.01	33.86±0.01	*
L <sub>0</sub> > 2.0 mm(%)	12.15±0.01	10.24±0.01	*
Volumen de la raíz (cm <sup>3</sup> )	4.74±0.46	2.96±0.13	**
Peso seca de la raíz (gr)	8.59±0.50	7.42±0.37	ns

\* P<0.05, \*\* P<0.01. Longitud (L).

Fuente: (Álvarez et al., 2011).

Los principales síntomas a nivel fisiológico son: cierre de estomas, disminución del potencial hídrico, pérdida de turgencia, disminución de la fotosíntesis y limitación del intercambio gaseoso. Para Luna et al. (2015) recomiendan el cálculo de la Eficiencia de Uso de Agua (EUA), a partir de la transpiración y rendimiento de la planta, donde es considerado un indicador clave de la necesidad de agua de una planta bajo ciertas condiciones ambientales.

**e) EFICIENCIA DEL USO DE AGUA (EUA)**

La EUA se puede calcular a nivel de hoja como eficiencia de uso de agua fotosintética (EUAF) con la fórmula 1 o a nivel de cultivo como Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp) con las fórmulas 2 o 3, esta última ha sido propuesta como estrategia para conocer la cantidad de agua mínima que requiere una planta para una determinada productividad (Luna et al.,2015).

$$EUAF = A/TEUAF = A/T \dots\dots\dots \text{(formula 1)}$$

Dónde: A, es la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> por unidad de área foliar (mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), y T, es la tasa de transpiración por unidad de área foliar (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

$$EUAp = B/TEUAp = B/T \dots\dots\dots \text{(formula 2)}$$

$$EUAp = B/ETEUAp = B/ET \dots\dots\dots \text{(formula 3)}$$

Dónde: B, es biomasa aérea y/o radicular en la cosecha; T o ET es el agua perdida en la producción de dicha biomasa, referida como transpiración o evapotranspiración.

En avena, la EUA de riego y la producción de materia seca, se encontró valores promedio que varían entre 1.18 y 1.09 kg MS m<sup>-3</sup> en el estado de Aguascalientes – México (García et al., 2016).

**f) ÍNDICES DE TOLERANCIA AL ESTRÉS**

En investigaciones realizadas en cereales principalmente para grano en el Medio Oriente, desarrollaron diversos índices a partir del rendimiento, donde miden la tolerancia o susceptibilidad al estrés, de los cuales concluyen y recomiendan:

$$\text{Índice de tolerancia al estrés } YSI = (Ys/Yp) YSI = (Ys/Yp)$$

(Bousslama y Schapaugh, 1984 citado por Boussen et al., 2010)

$$\text{Productividad media geométrica } GMP = \sqrt{(Ys*Yp)} GMP = \sqrt{(Ys*Yp)}$$

(Fernandez, 1992 citado por Zaheri y Bahraminejad, 2012)

Productividad media  $MP = (Y_s * Y_p) / 2$

(Rosielle y Hamblin, 1981 citado Nazari y Pakniyat, 2010)

Productividad media geométrica  $P_i = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2 / 2n$

(Clarke et al., 1992 citado por Akcura y Ceri, 2011)

Media Harmónica  $HM = 2(Y_p * Y_s) / (Y_p + Y_s)$

(Chakherchaman et al., 2009 citado por Akcura y Ceri, 2011)

Índice de rendimiento  $YI = (Y_s / \bar{Y}_s)$

(Gavuzzi et al., 1997 citado por Amiri et al., 2014)

Tolerancia al estrés  $TOL = Y_p - Y_s$

(Rosielle y Hamblin, 1981 citado por Mohammadi et al., 2011)

Índice de tolerancia al estrés  $STI = (Y_s \times Y_p) / \bar{Y}_p^2$

(Fernandez, 1992 citado por Boussen et al., 2010)

Índice de tolerancia a estrés modificado  $MSTI = M * STI$

(Farshadfar y Sutka, 2002 citado por Amiri et al., 2014)

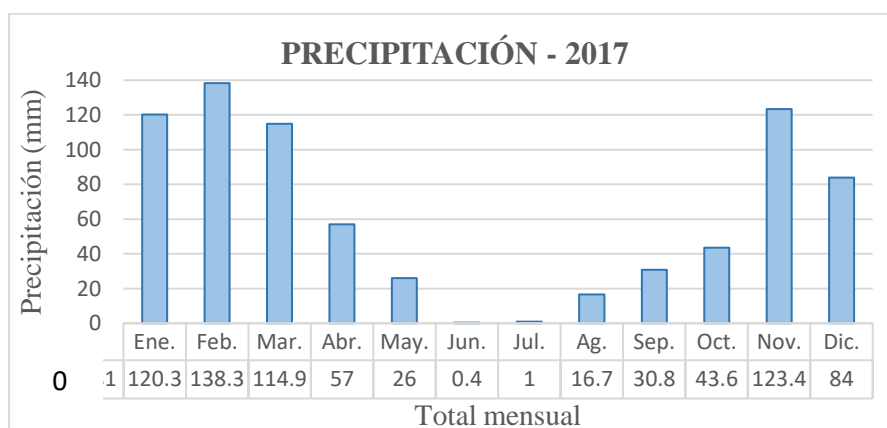
Donde,  $\bar{Y}_p$  y  $\bar{Y}_s$  son los promedios de los rendimientos de todos los genotipos sin estrés y estresados;  $Y_p$  y  $Y_s$  rendimiento de materia seca del genotipo sin estrés y estresado;  $M$  es el coeficiente de corrección para cada nivel de riego;  $X_{ij}$  rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente;  $M_j$  máximo rendimiento del genotipo en el j-ambiente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

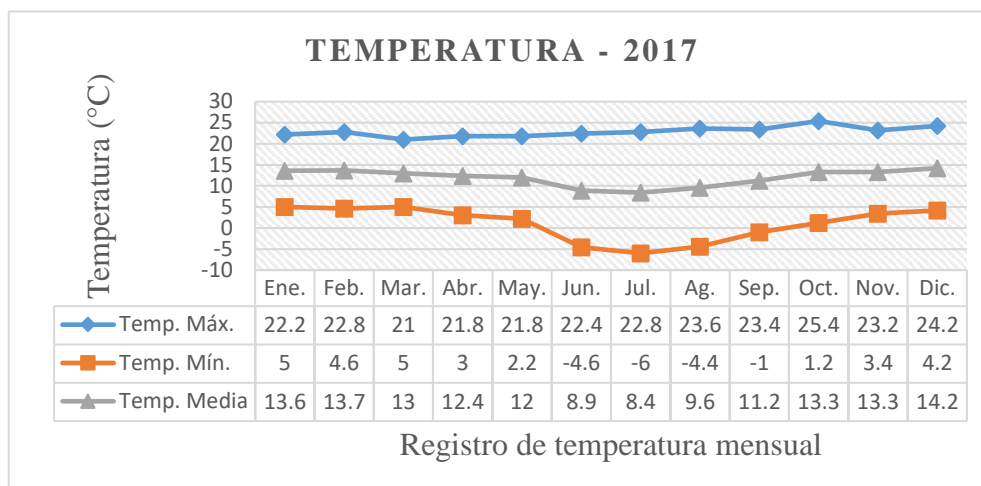
#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Instituto Regional de Desarrollo Sierra (IRD – Sierra) San Juan de Yanamuco de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito de San Lorenzo, provincia de Jauja, departamento de Junín, con las siguientes coordenadas 11°51'36.57" latitud sur y 75°23'44.66" longitud oeste, a una altitud de 3 304 msnm.

Desarrollado entre los meses de junio del 2017 a enero de 2018, estos meses se distinguen como temporada seca e inicios de lluvia. El Valle del Mantaro tiene un clima templado que varía entre -5°C y 20°C de temperatura, la precipitación varía entre 0.4 mm y 130 mm durante todo el año, reportándose las condiciones climáticas críticas en los meses de junio a agosto (Figuras 14 y 15) (Senamhi 2019), perteneciendo según Holdridge a bosque húmedo montano tropical (bh-MT).



**Figura 14. Registro de precipitación (mm) total por mes del año 2017 de la ciudad de Jauja. Fuente: (SENAMHI, sf).**



**Figura 15. Registro de temperatura (°C) por mes del año 2017 de la ciudad de Jauja. Fuente: (SENAMHI, sf).**

## 3.2. Proceso Instalación y Conducción

### 3.2.1. Siembra

El 15 de julio de 2017, se inició la siembra de los 19 genotipos (Tabla 08) en bandejas germinadoras, utilizando una pre-mezcla (PREMIX 3 – SUNSHINE) que está compuesto principalmente a base de musgo Sphagnum y vermiculita, su granulometría es fina, da óptimas condiciones de temperatura y humedad constante logrando así el nacimiento de las plántulas. Para una exitosa germinación se colocó una semilla por orificio, haciendo un total 180 plántulas por cada bandeja, se utilizó 2 bandejas por cada genotipo.

**Tabla 08. Código, nombre, procedencia y rendimiento de los genotipos evaluados.**

N°	Código	Genotipo	Procedencia	Rendimiento	Rendimiento
				FV	MS
1	INIA01	INIA 901 Mantaro 15 (Crema)	Junín - Huancayo	40-60 Ton/Ha	
2	INIA02	INIA 902 Africana (Crema claro)	Puno	39-52 Ton /Ha	
3	INIA03	INIA 903 Tayco (Marrón a Negra)	Puno	53 Ton/Ha	11 Ton/Ha
4	INIA04	INIA 904 Vilcanota I (Amarillo pajizo)	Cusco	61 Ton/Ha	12 Ton/Ha
5	INIA05	INIA 905 Cajamarquilla (Negra)	Cajamarca	52 Ton/Ha	14 Ton/Ha
6	INIA06	Avena Cayuse (Blanca)	Puno	60-80Ton/Ha	
7	AC01	Centenario (Blanca)	Junín- Huancayo		
8	NB01	Blanca	Puno- Azángaro	33 – 40 kg/ha	
9	NB02	Blanca	Junín - Jauja	(reporte sierra central)	
10	NB03	Blanca	Junín - Jauja		
11	NB04	Blanca	Junín- Huancayo	39.64 –	
12	NB05	Blanca	Arequipa	25.500 kg/ha	
13	NB06	Blanca	Junín – Tarma	(reporte sur del Perú)	
14	NN01	Negra	Puno- Azángaro		
15	NN02	Negra	Junín – Tarma		
16	NN03	Negra	Junín – Jauja		
17	NN04	Negra	Cuzco		
18	NN05	Negra	Puno- Azángaro		
19	NN06	Negra	Puno – Juliaca		

Fuente: Adaptado de INIA, 2019; Argote y Halanoca, 2007; y Noli et al., 2004.



### 3.2.2. Preparación de las macetas

Las macetas se cubrieron con un sustrato (suelo franco-arenoso) hasta las ¾ partes y se controló un peso uniforme de 5 kg para cada maceta. El sustrato utilizado fue suelo característico del Valle del Mantaro al que previamente se le realizó un análisis físico – químico (Tabla 09), el cual no necesitó fertilizar al momento del trasplante ya que cubría los requerimientos nutricionales de la avena 60-100-60 kg/ha de N-P2O5 -K2O.

**Tabla 09. Propiedades físicas y químicas del suelo utilizado en las macetas.**

Propiedades físicas		Propiedades químicas	
Textura	Cc (%)	Pm (%)	Materia orgánica (%)
Franco arenoso	14.54	7.52	3.45
Arena (%)	60.07		
Limo (%)	27.13		
Arcilla (%)	10.1		

Laboratorio de análisis de suelos de la UNALM

Se determinó la capacidad de campo (CC) de cada maceta mediante la fórmula 01, conocido también como método de la manguera o de la columna de suelo, que consistió en saturar con agua y se dejó drenar durante la noche para eliminar el exceso de agua, al día siguiente se pesó utilizando una balanza digital de capacidad de 10 kilos, con una precisión de 0.1g, para obtener la capacidad de campo de cada maceta.

$$CC = \frac{Psh-Pss}{Pss} \quad CC = \frac{Psh-Pss}{Pss} \dots\dots\dots (Fórmula 01)$$

Donde:

CC = capacidad de campo

Psh = peso de suelo húmedo

Pss = peso de suelo seco

### 3.2.3. Trasplante

Desde la siembra se mantuvo el riego hasta los 38 días, cuando la mayoría de las plántulas emergieron y habían obtenido un tamaño uniforme de 10 cm promedio óptimas para el trasplante. Se seleccionaron 36 plántulas vigorosas de cada genotipo y estas fueron trasplantadas a 3 plántulas por maceta previo etiquetado.

### 3.2.4. Riego

Después del trasplante, el riego fue regulado manteniendo la capacidad de campo hasta lograr que las plantas se establezcan en las macetas y estén vigorosas por un lapso de 2 semanas y con la ayuda de probetas de 1000ml, 500ml, 250ml, 100ml y 10ml se midió la cantidad de agua que necesitaba cada maceta, el agua de riego utilizado, provino del canal de irrigación margen izquierda del río Mantaro (CIMIR).

A los 91 días después de la siembra en la etapa fenológica del encañonado (Tabla 03), se empezó con la aplicación de los tres diferentes niveles de riego para cada genotipo, manteniendo cada nivel hasta la cosecha. La cantidad de agua disponible en cada maceta fue de 75, 50 y 25 por ciento de la capacidad de campo (%CC) del sustrato, el cual se calculó por gravimetría (Fórmula 02), que consiste en la diferencia de pesos de las macetas de un día a otro. Siendo X la cantidad de agua a reponer dependiendo del tratamiento establecido.

$$X = PIM - PFM \dots\dots\dots (Fórmula 02. Adaptado de Lozano, 2015)$$

Donde:

X = Cantidad de agua disponible en la maceta.

PIM = Peso inicial de la maceta (peso seco)

PFM = Peso final de la maceta 100% capacidad de campo (De la Fórmula 01).

El resultado (X) será multiplicado por cada nivel de riego aplicado dependiendo del tratamiento al que fue destinado cada maceta:

X0.75 = cantidad de agua a reponer al 75% CC

X0.50 = cantidad de agua a reponer al 50% CC

X0.25 = cantidad de agua a reponer al 25% CC

Por otro lado, se midió la intensidad de estrés (SI) aplicada en el presente estudio, mediante la siguiente fórmula 03.

$$\text{Índice de estrés } SI = 1 - \left( \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right) \dots \text{ (Fórmula 03. Adaptado de Mohammadi et al., 2011)}$$

Dónde:

$\bar{Y}_s$  (25650) es el promedio de rendimiento de materia seca de todos los genotipos a 25 o 50 % CC.

$\bar{Y}_p$  es el promedio de rendimiento de materia seca de todos los genotipos a 75 % CC.

Entonces para el nivel de riego de 50 por ciento de la capacidad de campo (50% CC) se obtuvo 0.11 de índice de estrés y para el nivel de riego del 25 por ciento de la capacidad de campo (25% CC) se obtuvo un índice de estrés del 0.41, considerados como estrés leve y moderado respectivamente.

### 3.2.5. Diseño de campo

A cada maceta (unidad experimental) se le asignó un genotipo y un nivel de riego. Se colocó 6 macetas por fila en 2 columnas, siendo distribuidas al azar los 19 genotipos por tres 3 niveles de riego y 4 repeticiones, haciendo un total de 228 macetas bajo un interceptor de lluvia móvil (Figura 16 y 17).



**Figura 16. Distribución de las macetas en campo, dentro del interceptor de lluvia.**



**Figura 17. Interceptor de lluvia cubriendo las macetas (unidad experimental).**

### **3.3. Características morfológica evaluadas**

Las características morfológicas (Tabla 10) de la avena forrajera fueron medidas y registradas en una computadora, en la (Figura 18) se observa el momento óptimo de cosecha cuando cada genotipo alcanzó la fase fenológica de grano lechoso - pastoso de la avena forrajera para su uso como ensilado (Argote y Ruiz, 2011; Nestares, 2014).

**Tabla 10. Características morfológicas evaluadas en la cosecha de la avena forrajera.**

<b>Característica morfológica</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Altura total de planta	centímetros (cm)	regla
Longitud y ancho de hoja	centímetros (cm)	regla
Número de hojas por tallo	numérico	visual
Número de tallos	numérico	visual
Cobertura aérea	cm <sup>2</sup>	fotografía
Biomasa fresca área y radicular	gramos por maceta (g)	balanza, estufa
Biomasa seca aérea y radicular	gramos por maceta (g)	balanza, estufa



**Figura 18. Genotipo listo para la cosecha sometidos de 25, 50 y 75 por ciento de la capacidad de campo de riego.**

### 3.4. Indicadores de respuesta al estrés

A partir de los datos registrados sobre las características morfológicas de cada genotipo, se obtuvo los siguientes indicadores de estrés hídrico (Tabla 11).

**Tabla 11. Indicadores estrés hídrico en la avena forrajera.**

<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>
Vigor del genotipo (altura)	centímetros (cm)
Relación verde senescente <sup>-1</sup>	numérico
Área foliar	centímetros cuadrados por planta (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )
Relación Raíz planta <sup>-1</sup>	numérico
Índice de Tolerancia al Estrés (STI)	numérico
Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp)	numérico

### 3.4.1. Vigor de la planta

La altura es la respuesta más fehaciente del estrés por déficit hídrico debido a que el agua es un recurso importante en el ensanchamiento, diferenciación y división celular, fenómenos involucrados en el crecimiento de las plantas (Montilla, 2013; Luna et al., 2015).

Se midió la altura las plantas de cada maceta desde el ras del sustrato (suelo) hasta la parte terminal de la inflorescencia (Mayhua et al., 2008 citado por Rivera y Roca, 2017).

### 3.4.2. Relación verde Senescente<sup>-1</sup>

Este indicador de estrés fue sistematizado a partir de los datos de cobertura, obtenidos mediante la fórmula 04.

$$V/S = \frac{\text{Cobertura verde}}{\text{Cobertura seca}} \quad V/S = \frac{\text{Cobertura verde}}{\text{Cobertura seca}} \dots\dots\dots \text{(Formula 04)}$$

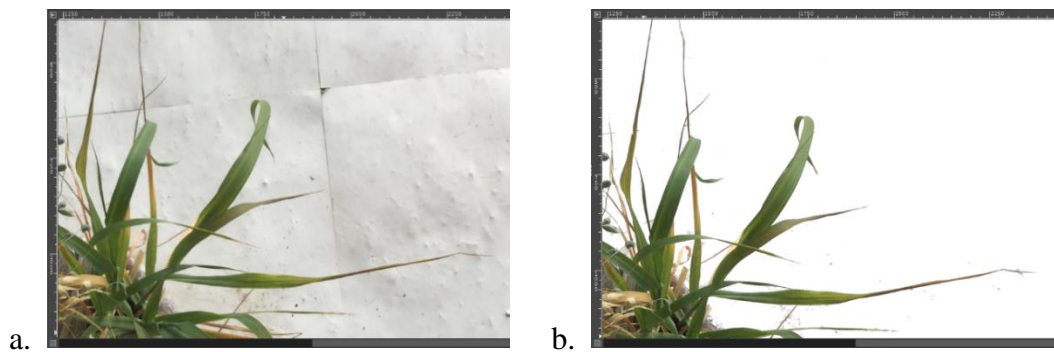
La cobertura se evaluó antes de la cosecha, para lo cual se realizó capturas fotográficas de cada maceta, estas fueron ubicadas sobre un fondo blanco y la cámara a dos metros de altura de manera perpendicular al cultivo (Figura 19) (adaptado de Saravia, 2011). Una vez obtenida las imágenes fotográficas, la sistematización se realizó de la siguiente manera:



**Figura 19. Captura de imágenes para la obtención de la cobertura.**

**a. Escalamiento, recorte y estandarización de fotografías**

Las 228 fotos tomadas en campo fueron descargadas a un ordenador, donde se realizó la corrección del histograma de cada foto con el software GIMP 2.10.10 (Figura 20) eliminando y recortando el ruido (todo aquello que no permitía obtener una imagen clara, o que alterará la clasificación de la planta).



**Figura 20. Antes (a.) y después (b.) de la corrección del histograma con el software GIMP 2.10.10 (<https://www.gimp.org/downloads/>).**

**b. Generación de áreas de entrenamiento**

La clasificación supervisada semiautomática de imágenes RGB con el software QGIS 3.4.3., consistió en generar tantos ROIs (áreas de entrenamiento) como sean necesarias para identificar cada clase: Fondo, hoja verde y hoja seca (senescente) a quienes se les designa los colores blanco, verde y amarillo respectivamente como se muestra la (figura 21) (Chávez et al., 2017).

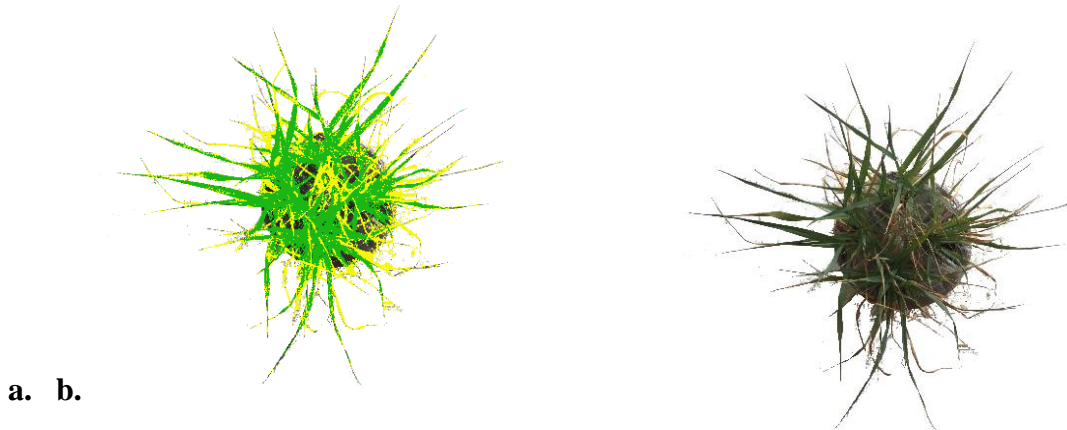


**Figura 21. Generación de los ROIs. Clase: hoja verde (color verde); hoja seca o senescente (color amarillo); fondo (color blanco).**



**c. Entrenamiento del algoritmo de clasificación de cobertura**

Una vez generada los ROIs para las 3 clases, fondo, hoja verde y hoja seca, se procedió a la extracción de valores RGB de la fotografía seleccionada, se utilizó como predictor en un proceso de entrenamiento con el algoritmo Random Forest del paquete “caret” en la plataforma R. El algoritmo desarrollado presenta alta confiabilidad ( $k = 0.996$ ), por lo que se procedió a utilizarlo como base para la clasificación del set de total de imágenes (Figura 22).



**Figura 22. (a.) Imagen de entrenamiento lista para la clasificación (b.) Imagen clasificada en hoja verde y senescente mediante el algoritmo Random Forest con alta confiabilidad ( $k = 0.996$ ).**

**d. Estimación del área de píxel**

Se consideró la sumatoria de los píxeles encontrados dentro del área de la maceta ya conocida, representándose mediante la fórmula 05.

$$\sum_{i=1}^n a^2 = S \sum_{i=1}^n a^2 = S(a) \dots\dots\dots \text{(Fórmula 05)}$$

Donde:

S es el diámetro superior de la maceta  $S = 23.4$  cm, y se contrastó con el número de píxeles que se encontraban dentro del círculo  $a^2 = S/n_{pix}$   $a^2 = S/n_{pix}$ , y  $n_{pix}$  es el número de píxeles dentro del círculo, entonces el área de cada píxel es  $a^2 = 0.00119$  cm<sup>2</sup> (Figura 23).





**Figura 23. Secuencia para la obtención del área un pixel.**

### **3.4.3. Área foliar (cm<sup>2</sup> Planta<sup>-1</sup>)**

Para la obtención de este indicador se consideró la fórmula 06, a partir de los datos de las características morfológicas registradas (Irigoyen et al 2018; Miralles y Slafer 1990 citado por Montoya, 2017).

$$AF_{planta} = A \times L \times H \times T \times 0.835 \quad AF_{planta} = A \times L \times H \times T \times 0.835 \quad \dots\dots\dots \text{(Fórmula 06)}$$

Dónde:

- A = ancho de hoja (cm)
- L = longitud de hoja (cm)
- H = número de hojas por tallo
- T = número tallo por planta
- 0.835 = factor de corrección

#### **a. Longitud y ancho de hoja**

En la fase fenológica grano lechoso – pastoso se midió con una regla milimetrada, considerando a la longitud desde la lígula hasta la parte terminal de la hoja y el ancho de hoja se midió la parte más ancha de la lámina foliar, estas medidas fueron registradas de la tercera hoja contado de la parte superior hacia abajo, con la intención de no considerar a una hoja joven o muy senescente, se realizó la misma acción en todas plantas.

#### **b. Número de hojas por tallo**

En esta fase fenológica de grano lechoso – pastoso, se contó el número de hojas del tallo principal de cada planta en cada maceta, sin considerar las hojas senescentes que se

encontraban en la base de las plantas, de esta manera conocer el total de hojas verdes por tallo.

### c. Número de tallos por planta

En la misma fase de cosecha se contó también el número de tallos de cada planta, para luego estimar el área foliar con las demás datos registrados.

#### 3.4.4 Relación raíz planta<sup>-1</sup> (R P<sup>-1</sup>)

Se determinó relación raíz planta del peso seco racicular entre el peso seco aéreo de la planta la fórmula 07 (Fageria and Moreira, 2011 y Hessini, 2009).

$$(R/T) = RW/LW(R/T) = RW/LW..... (Formula 07)$$

Dónde, RW es el peso de la raíz fresca o seca, y LW es el peso de la biomasa fresca o seca. (Zhang et al., 2009).

#### 3.4.5 Biomasa seca radicular y aérea (g planta<sup>-1</sup>)

A partir de la materia fresca aérea y radicular producto de la cosecha, se procedió a realizar el secado en un horno a 105 °C por 24 horas (Álvarez, 2017), la materia seca obtenida será expresada en gramos por planta (g planta<sup>-1</sup>).

A partir de los datos de biomasa registrados por planta, se determinó el rendimiento de materia seca en toneladas por hectárea (ton ha<sup>-1</sup>), según (Tomaso, 1996 citado por Marinissen et al., 2009; Nestares, 2015) la densidad de plantas que se encuentra en un metro cuadrado es de 200 plantas en promedio para forrajes: avena, centeno, trigo y cebada.

$$Y = Xg * \frac{200m^2}{1000g} * \frac{10000m^2}{1000kg} Y = Xg * \frac{200m^2}{1000g} * \frac{10000m^2}{1000kg}..... (Fórmula 08)$$

Donde:

Y = rendimiento de materia seca en toneladas por hectárea.

X = rendimiento de materia seca en gramos por planta.

g = gramos

kg = kilogramos

m<sup>2</sup> = metros cuadrados

### 3.4.6 Índice de tolerancia al estrés (STI)

El STI es la fórmula 09, que parte del rendimiento “Y”, para el presente estudio se consideró a la biomasa seca.

Índice de tolerancia al estrés

$$STI = (Y_s \times Y_p) / \bar{Y}_p^2 \quad (Fórmula 09 \text{ propuesta por Boussen et al., 2010})$$

Donde:

$Y_p$  rendimiento de materia seca del genotipo sin estrés (75% CC).

$Y_{50}$  y  $Y_{25}$  son el rendimiento de la materia seca del genotipo bajo estrés (50 y 25% CC).

$\bar{Y}_p$ ,  $\bar{Y}_{50}$  y  $\bar{Y}_{25}$  son los promedios del rendimiento de materia seca de todos los genotipos no estresados  $p = 75\%$  CC y estresados  $s = 50$  y  $25\%$  CC.

### 3.4.7 Eficiencia de uso de agua de la productividad (EUAp)

La EUAp a nivel del cultivo de avena se estimó desde la etapa fenológica del encañonado (91 días después de la siembra), hasta la cosecha. Se consideró a la biomasa total (materia seca aérea y radicular) y la evapotranspiración expresada como la sumatoria de la pérdida de agua en cada peso de las masetas (Formula 10).

$$EUAp = B/ET \quad (fórmula 10 \text{ propuesto por Luna et al., 2015})$$

Donde:

B es biomasa aérea y radicular en la cosecha; (ET) es el agua perdida en la producción de dicha biomasa, referida como evapotranspiración.

### 3.5. Análisis estadístico

Se partió del análisis de cada indicador, siguiendo el diseño completamente aleatorizado para cada nivel de riego (25, 50 y 75 de la capacidad de campo). El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias por Tukey  $p < 0.05$ , se usó la librería “agricolae” del software R.

El modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + e_{ij}$$

Donde:

$i$  : 1 .... 19 genotipos.

$j$  : 1, 2, 3, 4 repeticiones.

$Y_{ij}$  : Indicador del  $i$ -ésimo genotipo, de la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  : Media general.

$A_i$  : Efecto de la  $i$ -ésimo genotipo.

$e_{ij}$  : error experimental.

Selección de los indicadores y genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico.

Se realizó la correlación de los indicadores, con la finalidad de descartar algún indicador con correlación alta entre ellos. El análisis multivariado empezó con los componentes principales (PCA) para ver la agrupación de los indicadores y el aporte de cada uno a cada componente, utilizando las librerías “FactoMineR” y “factoextra”, el gráfico Biplot donde se observa la agrupación de los genotipos de acuerdo a la respuesta de los indicadores de estrés considerados; finalmente las agrupaciones fueron corroboradas por el análisis cluster por el método de la distancia euclidiana, desarrollados con las librerías “factoextra” y “NbClust” del software R. Seleccionando los grupos con respuestas altas de sus indicadores (Camarena y Ponce, 2017; De Mendiburu, 2017).

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO**

Los datos de las características morfológicas y fisiológicas de los genotipos de avena forrajera (Anexo 1) dan origen a los seis indicadores de estrés descritos a continuación:

#### **4.1.1. Vigor de la planta (Altura en cm)**

La altura de la planta es una característica morfológica muy importante y fácil de medir, que esta principalmente influenciada por el estrés hídrico y/o sequía, por lo que una respuesta elevada será expresada como vigor de la planta. Según los siguientes autores: Luna et al. (2015), Mahammad et al. (2016), Montilla (2013) y otros menciona que, las plantas tienden a disminuir de tamaño a medida que la disponibilidad de agua en el suelo sea menor, esta afirmación se corrobora con los datos presentados en la (Tabla 12). Donde, a 75 % CC de riego, los genotipos INIA-04 e INIA-05 con 107 y 106 cm respectivamente son los que presentaron mayor altura, mientras que NB-02 con 77 cm presento menor altura. A 50 % CC de riego, el genotipo INIA-01 tiene mejor altura de 91 cm, mientras que NN-01 es el que presento menor altura de 67 cm. A 25 % CC de riego, esta característica no presento diferencia de medias  $p < 0,05$ , registrándose altura máxima de 65 cm para el genotipo INIA-05.

Además, Sosa et al. (2008) encontraron que, la altura en gramíneas está determinada por la disponibilidad de agua de la planta variando en 40 cm entre la época seca y de lluvia, reportándose mayor altura en ambientes con mayor humedad en el suelo. Se encontró diferencia de hasta 53 cm entre los riegos del 75 y 25 % CC de riego para el genotipo INIA-04.

**Tabla 12. Promedio de la altura total(cm) de los 19 genotipos en 3 niveles de riego.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	94 abc	77 abc	49 a
INIA-01	98 ab	91 a	60 a
INIA-02	88 bc	80 abc	52 a
INIA-03	91 abc	71 bc	48 a
INIA-04	107 a	83 abc	54 a
INIA-05	106 a	86 ab	65 a
INIA-06	92 abc	76 abc	54 a
NB-01	88 bc	70 bc	52 a
NB-02	77 c	72 bc	42 a
NB-03	82 bc	75 abc	49 a
NB-04	84 bc	72 bc	48 a
NB-05	97 ab	82 abc	57 a
NB-06	82 bc	77 abc	50 a
NN-01	84 bc	67 c	51 a
NN-02	87 bc	76 abc	45 a
NN-03	97 ab	84 ab	50 a
NN-04	97 ab	82 abc	58 a
NN-05	86 bc	75 abc	55 a
NN-06	94 ab	76 abc	52 a

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de tukey.*

En el estudio realizado en el Altiplano – Puno por Argote y Halanoca (2007) entre los años 2003 y 2004 reportaron que Tayco, Cayuse, Vilcanota y Mantaro 15, son las que presentaron mayor altura de 142, 142, 150 y 160 cm respectivamente. Montoya (2017) consiguió para Mantaro 15 y Centenario alturas promedio de 115 y 122 cm respectivamente, trabajo que fue realizado en el valle del Mantaro – Junín. Nuestro estudio desarrollado en macetas a 75 % CC de riego obtuvo para INIA-01 (Mantaro15), INIA-02 (Africana), INIA-03 (Tayco), INIA-04 (Vilcanota), INIA-05 (Cajamarquilla), INIA-06 (Cayuse) y AC-01 (Centenario) alturas de 98, 88, 91, 107, 106, 92 y 94 cm respectivamente y los genotipos con mayor altura provenientes de productores fueron NB-05, NN-03 y NN-04 con 98, 97 y 97 cm respectivamente.

Los resultados son muy variables dentro de los mismos genotipos, esto se atribuye a que fueron evaluados en épocas y condiciones ambientes diferentes; además, la diferencia de siembra en maceta y en campo tuvo también impacto en la altura de la planta.

#### 4.1.2. Relación verde senescente<sup>-1</sup> (V S<sup>-1</sup>)

A 75, 50 y 25 % CC de riego de las macetas, el genotipo INIA-06 es el mejor, manteniendo una relación alta de valor 2. Mientras que el genotipo AC-01 es el que presentó menor relación V S<sup>-1</sup> por debajo de 0.9 en todos los niveles de riego (Tabla 13). Según (FAO, 2012 y Luna et al., 2015) la reducción de la cobertura verde y aumento de la senescencia es debido al estrés por déficit hídrico. El genotipo INIA-06 ha presentado mayor cobertura verde en los diferentes niveles de riego, siendo considerado como tolerante al estrés por déficit hídrico para este indicador.

**Tabla 13. Relación verde senescente<sup>-1</sup> (V S<sup>-1</sup>) de los 19 genotipos evaluados en 3 niveles de riego.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	0.86 g	0.65 f	0.60 d
INIA-01	1.91 ab	1.33 bcde	1.36 abcd
INIA-02	1.41 bcdef	1.39 bcde	1.50 abc
INIA-03	1.22 cdefg	1.46 bc	1.24 abcd
INIA-04	1.40 bcdef	1.04 cdef	1.22 bcd
INIA-05	1.45 bcde	1.30 bcde	1.08 bcd
INIA-06	2.27 a	2.23 a	1.98 a
NB-01	1.70 bc	1.45 bcd	1.53 abc
NB-02	1.67 bcd	1.63 b	1.59 ab
NB-03	1.07 efg	0.92 def	0.82 cd
NB-04	1.60 bcd	1.54 bc	1.48 abc
NB-05	1.34 cdefg	1.04 cdef	0.91 bcd
NB-06	1.16 defg	1.21 bcde	1.08 bcd
NN-01	1.33 cdefg	1.17 bcdef	1.08 bcd
NN-02	1.28 cdefg	1.11bcdef	0.89 bcd
NN-03	1.37 bcdefg	1.20 bcde	1.03 bcd
NN-04	1.35 cdefg	1.26 bcde	1.04 bcd
NN-05	1.43 bcdef	1.30 bcde	1.19 bcd
NN-06	0.90 fg	0.90 ef	0.98 bcd

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de tukey.*

#### 4.1.3. Área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>)

A 75 % CC, el genotipo NB-04 es el mejor con 211 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>. Para 50 % CC y 25 % CC, el genotipo NN-04 es el mejor con valores de 217 y 212 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras que el genotipo INIA-05 presento menor área foliar en los 3 niveles de riego evaluado con valores menores de 50 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup> (Tablas 14).

**Tabla 14. Área foliar (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	161 abc	143 bcd	131 b
INIA-01	118 c	113 d	127 b
INIA-02	185 abc	172 abcd	149 ab
INIA-03	161 abc	177 abc	153 ab
INIA-04	164 abc	160 abcd	120 b
INIA-05	35 d	40 e	41 c
INIA-06	151 abc	141 bcd	149 ab
NB-01	185 abc	188 ab	154 ab
NB-02	173 abc	154 bcd	144 b
NB-03	176 abc	128 cbd	126 b
NB-04	211 a	150 bcd	158 ab
NB-05	166 abc	135 bcd	123 b
NB-06	162 abc	138 bcd	132 b
NN-01	115 c	124 cd	105 bc
NN-02	136 abc	136 bcd	125 b
NN-03	151 abc	154 bcd	147 b
NN-04	200 ab	217 a	212 a
NN-05	121 c	143 bcd	122 b
NN-06	178 abc	168 abcd	163 ab

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de tukey.*

El genotipo INIA-05 mostró los valores más bajos de área foliar, en este caso sus hojas pequeñas que caracterizan a este genotipo restaron preferencia por este cultivo debido a que el área foliar representa una mayor intercepción de luz para la fotosíntesis que posteriormente se refleja en el rendimiento de materia seca.



Montoya (2017) reportó un área foliar de 237.93 cm<sup>2</sup> para el genotipo Centenario (AC-01) y 186.50 cm<sup>2</sup> para Mantaro 15 (INIA-01) en la fase fenológica de inicio de floración. El presente estudio reportó valores inferiores donde el área foliar se evaluó en la fase fenológica grano lechoso – pastoso para los genotipos AC-01 e INIA-01 con 161 y 118 cm<sup>2</sup> de área foliar respectivamente para el 75 % CC de riego.

#### **4.1.4. Relación raíz planta<sup>-1</sup>**

A 75 % CC de riego normal, el genotipo NB-04 es el que presentó mayor de relación raíz planta<sup>-1</sup> 0.86, mientras que NN-05 es el que presentó menor relación raíz planta<sup>-1</sup> 0.28; por lo tanto, el primer genotipo presentó mayor desarrollo radicular. Para el riego del 50 y 25 % CC este indicador no presentó diferencia de medias  $p < 0,05$  entre los genotipos (Tabla 15).

Según (Xu et al., 2015) en su estudio de plántulas de arroz sometidas a estrés por sequía, la relación Raíz Brote<sup>-1</sup> aumento significativamente bajo las condiciones de estrés comparadas con el control, también reporta que la proporción de materia seca aumento en las raíces notablemente en las plántulas estresadas. A 50 % CC el genotipo AC-01 ha desarrollado mayor biomasa radicular. A 25 % CC el genotipo NN-03 obtuvo 1.35 de relación raíz planta<sup>-1</sup> habiendo desarrollado mayor biomasa radicular en las condiciones de estrés hídrico moderado, a diferencia de la respuesta de los demás genotipos que mantuvieron o amenguaron el volumen radicular a medida que se restringió el agua; A todo esto, también (Álvarez et al., 2011) sustentaron mediante la (Figura 12) que existe un incremento considerable del volumen radicular en plantas estresada por sequía.

**Tabla 15. Relación raíz planta<sup>-1</sup> (R P<sup>-1</sup>) de los 19 genotipos evaluados en 3 niveles de riego.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	0.42 bc	1.01 a	0.85 a
INIA-01	0.68 ab	0.80 a	1.10 a
INIA-02	0.57 ab	0.64 a	1.05 a
INIA-03	0.48 bc	0.64 a	0.89 a
INIA-04	0.60 ab	0.82 a	1.11 a
INIA-05	0.43 bc	0.58 a	0.79 a
INIA-06	0.55 bc	0.68 a	0.81 a
NB-01	0.63 ab	0.53 a	0.71 a
NB-02	0.68 ab	0.61 a	0.95 a
NB-03	0.66 ab	0.68 a	1.22 a
NB-04	0.86 a	0.76 a	0.76 a
NB-05	0.61 ab	0.75 a	0.92 a
NB-06	0.57 bc	0.71 a	0.80 a
NN-01	0.47 bc	0.67 a	0.87 a
NN-02	0.58 ab	0.61 a	0.93 a
NN-03	0.48 bc	0.80 a	1.35 a
NN-04	0.54 bc	0.78 a	1.14 a
NN-05	0.28 c	0.75 a	0.86 a
NN-06	0.66 ab	0.76 a	1.29 a

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de tukey.*

#### **4.1.5. El índice de tolerancia al estrés (STI)**

El índice de tolerancia al estrés basado en la biomasa aérea de cada genotipo, a 75 % CC se consideró como referencia y permitió comparar con los otros 2 niveles de riego de 50 % CC y 25 % CC (Tabla 16).

**Tabla 16. Índice de tolerancia al estrés (STI) de los 19 genotipos evaluados en 3 nieves de riego.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	1.08 abc	0.84 ab	0.63 ab
INIA-01	0.70 c	0.70 b	0.57 ab
INIA-02	0.79 c	0.74 b	0.48 ab
INIA-03	1.11 abc	0.91 ab	0.52 ab
INIA-04	1.51 a	1.18 ab	0.82 a
INIA-05	0.82 c	0.69 b	0.56 ab
INIA-06	1.57 a	1.20 ab	0.72 ab
NB-01	0.93 abc	0.85 ab	0.68 ab
NB-02	0.64 c	0.82 ab	0.42 b
NB-03	0.65 c	0.71 b	0.45 ab
NB-04	0.87 bc	0.82 ab	0.55 ab
NB-05	0.73 c	0.74 ab	0.41 b
NB-06	0.86 bc	0.74 ab	0.56 ab
NN-01	0.95 abc	0.73 b	0.59 ab
NN-02	1.11 abc	1.30 a	0.63 ab
NN-03	1.28 abc	1.11 ab	0.67 ab
NN-04	1.20 abc	1.01 ab	0.70 ab
NN-05	1.20 abc	0.83 ab	0.58 ab
NN-06	1.50 ab	1.09 ab	0.71 ab

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de Tukey.*

A 50 % CC de riego el genotipo tolerante es NN-02 con 1.30 de STI, mientras que INIA-01, INIA02, INIA-05, NB-02 y NN-01 se consideran como susceptibles por sus valores de 0.70, 0.74, 0.69, 0.71 y 0.73 de STI respectivamente. A 25% CC, el genotipo INIA-04 con 0.82 es el más tolerante a estrés hídrico, mientras que los genotipos menos tolerantes o susceptibles fueron NB-02 y NB-05 con 0.42 y 0.41 de STI respectivamente.

Los autores (Zaheri y Bahraminejad, 2012) reportan que, los genotipos de avena tolerantes a la sequía presentaron 2.1, 1.8 y 1.5 de STI y los susceptibles 0.35, 0.39 y 0.43 de STI. (Akura y Ceri, 2011) mencionan que, los cultivares con STI de 0.75 seguido por 0.73 y 0.72 son los valores más altos reportados como genotipos tolerantes. Por el contrario, los genotipos con STI de 0.37 y 0.41 fueron considerados como susceptibles a estrés hídrico. Estos referentes presentaron mayores valores de tolerancia al estrés, estos valores se basaron al rendimiento del grano de *Avena sativa*, en nuestro estudio se utilizó la biomasa aérea.

#### 4.1.6. Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp) g ml<sup>-1</sup>

Este indicador no presento diferencia de medias  $p < 0,05$  para ningún nivel de riego (Tabla 17). Según (Luna et al., 2015) la EUA aumenta, pero su rendimiento disminuye; sin embargo, en casos extremos reportan que tanto la EUA como el rendimiento disminuyen, se observa en la presente investigación donde a medida que el estrés hídrico se hace agudo la EUAp aumenta, resaltando 0.036 y 0.035 g ml<sup>-1</sup> para NN-03 e INIA-01 respectivamente. Resultados totalmente diferentes e inferiores de EUA en avena, han sido reportados por (García et al., 2016), con datos que varían de 1.09 a 1.18 kg MS m<sup>-3</sup>. En estudios realizados en trigo para producción de grano se ha reportado datos máximos de EUA 21.55 y 21.49 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> resultados de 2 campañas consecutivas.

**Tabla 17. Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp) de los 19 genotipos evaluados en 3 niveles de riego g ml<sup>-1</sup>.**

<b>Genotipo</b>	<b>75%CC</b>	<b>50%CC</b>	<b>25%CC</b>
AC-01	0.003 a	0.008 a	0.022 a
INIA-01	0.002 a	0.007 a	0.035 a
INIA-02	0.003 a	0.007 a	0.022 a
INIA-03	0.003 a	0.006 a	0.017 a
INIA-04	0.003 a	0.007 a	0.022 a
INIA-05	0.003 a	0.007 a	0.024 a
INIA-06	0.003 a	0.008 a	0.023 a
NB-01	0.003 a	0.006 a	0.026 a
NB-02	0.002 a	0.008 a	0.024 a
NB-03	0.002 a	0.006 a	0.029 a
NB-04	0.003 a	0.007 a	0.019 a
NB-05	0.004 a	0.007 a	0.023 a
NB-06	0.002 a	0.006 a	0.018 a
NN-01	0.004 a	0.007 a	0.034 a
NN-02	0.003 a	0.008 a	0.026 a
NN-03	0.003 a	0.008 a	0.029 a
NN-04	0.003 a	0.007 a	0.028 a
NN-05	0.003 a	0.008 a	0.019 a
NN-06	0.004 a	0.007 a	0.036 a

*Letras diferentes en cada columna difieren a  $p < 0,05$  test de Tukey.*

#### 4.2. CORRELACIÓN ENTRE LOS INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO

El Índice de Tolerancia al Estrés (STI) presentó una correlación baja con el área foliar  $p < 0.001$ , correlación moderada negativa con la relación raíz planta<sup>-1</sup>  $p < 0.001$ , correlación moderada con la altura  $p < 0.001$ , correlación mínima con la relación verde senescente<sup>-1</sup>  $p$

<0.01 y una correlación moderada negativa con la Eficiencia de Uso de Agua de la productividad (EUAp)  $p < 0.001$ .

Sosa et al. (2008) refieren que los valores de altura y cobertura evaluadas en gramíneas forrajeras siguen un patrón similar en cada una de las edades de rebrote y en las distintas épocas del año, donde encontró una correlación moderada entre esas dos características  $p < 0.001$ . La altura también presentó correlación moderada negativa con la relación raíz planta<sup>-1</sup>  $p < 0.01$ . (Khayatnezhad et al., 2010), reportaron que la altura de la planta de avena presenta correlación positiva con el peso de la planta (biomasa seca)  $p < 0.05$ , para nuestro estudio el STI proviene de la biomasa seca. La mayoría de los indicadores de estrés presentados en este estudio muestran alguna magnitud de correlación, sin embargo, el Área foliar no presenta correlación o la magnitud de la correlación es mínima con los demás indicadores (Tabla 18).

**Tabla 18. Correlación de los 6 indicadores de estrés hídrico considerando los 19 genotipos evaluados y los 3 niveles de riego.**

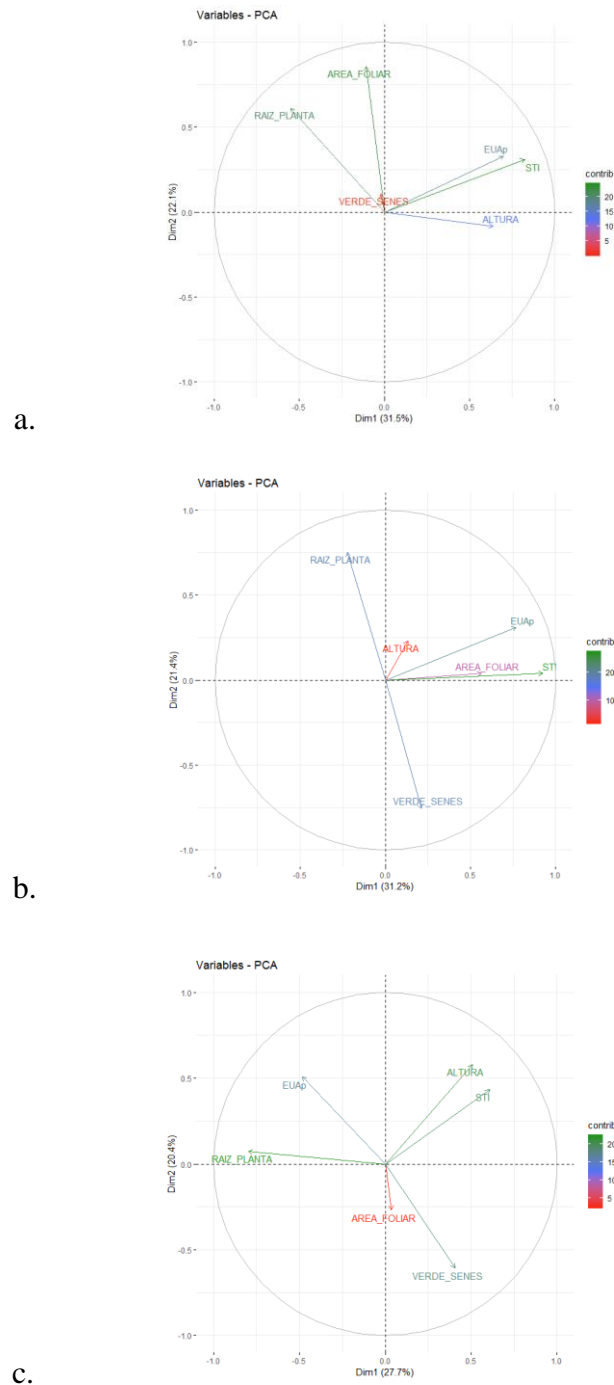
	EUAp	Relación Verde senescente <sup>-1</sup>	Altura	Relación raíz planta <sup>-1</sup>	Área foliar	STI
EUAp	1	-0.22***	-0.73***	0.60 ***	-0.15 *	-0.43***
Relación verde senescente <sup>-1</sup>		1	0.18**	-0.25***	0.000	0.16*
Altura			1	-0.58 ***	0.12 *	0.59***
Relación raíz planta <sup>-1</sup>				1	0.000	-0.48***
Área foliar					1	0.29***
STI						1

*Los valores cercanos a 1 o -1 muestran muy buena correlación positiva o negativa respectivamente, la significancia: '\*\*\*'  $p < 0.001$  '\*\*'  $p < 0.01$  '\*'  $p < 0.05$  '.'  $p < 0.10$  ''  $p < 1$*

### 4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La reducción de los indicadores a partir del análisis de componentes principales, muestran la agrupación de los 6 indicadores de estrés evaluadas en dos dimensiones (Figura 24. a, b y c), donde el indicador que más aporta en los tres niveles de riego de 75, 50 y 25 % CC es el Índice de tolerancia al estrés (STI). A 75% CC, la relación verde senescente<sup>-1</sup> es el índice

que menos aporta en las dos dimensiones, a 50 % CC la altura y el área foliar son los índices que aportan menos en las dos dimensiones y a 25 % CC, el área foliar es el que aporta menos para las dos dimensiones de los componentes principales analizados de acuerdo a la magnitud del vector.



**Figura 24. Análisis de componentes principales (APC) de los 6 indicadores de estrés, a partir de los 19 genotipos de avena forrajera en los 3 niveles de riego: a. 75% CC, b. 50 % CC y c. 25 % CC.**

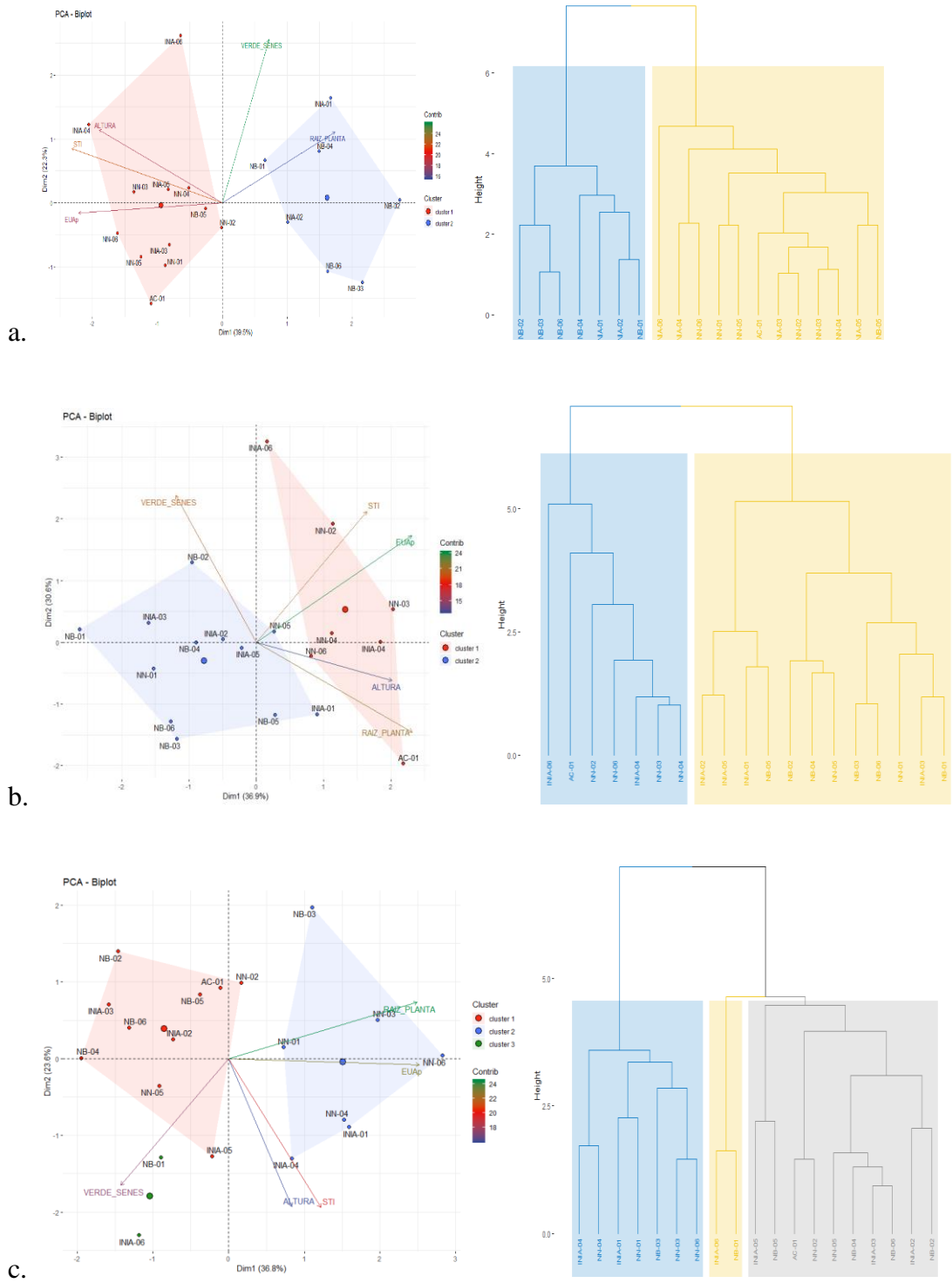
Las dos dimensiones evaluadas en los tres niveles de riego (75, 50 y 25 % CC) explican hasta un 53.6, 52.6 y 48.1 por ciento respectivamente la agrupación de sus seis indicadores. Para (Aldás y Uriel, 2017) el análisis de componentes principales busca explicar más del 60 por ciento la agrupación de sus variables con el menor número de componentes, en este estudio los resultados de dos componentes principales explican que se encuentran por debajo de lo recomendado, por lo que se optó eliminar el indicador de Área foliar ya que según lo anteriormente descrito es el que aporta menos a las dos dimensiones cuando se aplica el estrés hídrico (Figura 24).

Se evaluaron índices de tolerancia al estrés a partir de una sola característica agronómica (rendimiento del grano) publicando resultados muy superiores a lo reportado en el presente estudio, para Zaheri y Bahraminejad (2012) el 99.66 por ciento explica la agrupación de sus índices en dos componentes para el rendimiento del grano de avena. Amiri et al. (2014) refieren que los dos primeros componentes explican el 97.59 por ciento la agrupación de sus índices de tolerancia y susceptibilidad al estrés por sequía en trigo. Nazari y Pakniyat (2010) explican el 69.27 por ciento para el primer componente y 28.59 por ciento para el segundo componente la agrupación de los índices para estrés y no estrés a la sequía. Estos referentes difieren a los resultados del presente estudio debido a que sus índices provienen del análisis de una sola característica como es el rendimiento de grano en los cereales referidos.

Sin embargo, (Yan y Rajcan, 2002) en su estudio de soya demuestran que la evaluación de características múltiples como: rendimiento de grano, contenido de aceite, proteína, altura de planta y días de maduración son una herramienta estratégica de comparación y selección de genotipos, de manera muy similar se realizó en nuestro estudio donde se evaluaron finalmente cinco indicadores de estrés obtenidos a partir de las características morfológicas y fisiológicas de 19 genotipos evaluados a tres niveles de riego.

#### **4.4. AGRUPACIÓN DE GENOTIPOS EN RESPUESTA DE SUS INDICADORES DE ESTRÉS.**

Akcura y Ceri (2011) refieren que el análisis biplot muestra la formación de clusters a partir de las dos dimensiones del ACP (Figura 25. a, b y c). Es considerado un método de agrupación de genotipos por similitud de los resultados de los indicadores de estrés.



**Figura 25. Biplot basado en los dos primeros ejes de componentes principales (PC1 y PC2) y la formación de clusters a partir de 5 indicadores de estrés, los 19 genotipos de avena forrajera a. 75% CC, b. 50 % CC y c. 25 % CC. Nota: los detalles de los clusters se muestran en el Anexo 06 a, b y c para cana nivel de riesgo.**



A 75 % CC de riego, los genotipos formaron dos grupos, observándose que los clusters 1 y 2 (Figura 25. a) comparten la característica cualitativa del color de semilla marrón a negro (semilla oscura) y blanca o crema (semilla clara) respectivamente, con la excepción de los genotipos INIA-06, AC-01 y NB-05 que tienen semilla blanca y se encuentran agrupados en el cluster 1. (Noli et al., 2004; Argote y Halanoja, 2007) mencionan que el color de la semilla influye en la precocidad, considerando a los genotipos de semilla negra como precoces y a los genotipos de semilla blanca como tardías siendo esta una característica de la avena forrajera. El cluster 1 muestra valores similares entre sus indicadores de estrés y ligeramente superiores a el cluster 2 (Anexo 06 a).

A 50 % CC, el análisis cluster muestra dos grupos de los genotipos según la similaridad de la respuesta de sus indicadores de estrés (Figura 25. b). Independientemente del color de la semilla cada genotipo responde diferente al estrés leve por déficit hídrico. De acuerdo a la tabla del (Anexo 06. b), el cluster 1 es el que presenta ligeramente mejores valores, en los que se encuentran los genotipos AC-01, INIA-04, INIA-06, NN-02, NN-03, NN-04 y NN-02, seguida por el cluster 2 que engloba a los genotipos restantes.

A 25 % CC, el análisis cluster formó tres grupos, donde el (Anexo 06. c) muestra una tabla resumen, indicado que el clustes 2 con los genotipos NB-03 (Avena blanca - Junín), NN-01 (Avena negra - Puno), NN-03 (Avena negra - Junín), NN-06 (Avena negra - Puno), NN-04 (Avena negra - Junín), INIA-01 (Mantaro 15 - Junín) e INIA-04 (Vilcanota I - Cuzco) presentaron similares y mejores valores respecto de los 5 indicadores de estrés evaluados; seguidos por, el cluster 3 con los genotipos INIA-06 (Cayuse - Puno) y NB-01 (avena blanca – Azángaro - Puno) quienes presentaron mayor relación verde / senescente y el cluster 1 (Figura 25. C—) este último, agrupó a los genotipos de manera opuesta a los 5 vectores de indicadores de estrés, por lo que son considerados como susceptibles. Los resultados publicados por (Argote y Halanoca, 2007) concluyen que la avena Africana (INIA-02) fue tolerante a las condiciones medioambientales del Altiplano de Puno, por presentar tolerancia a heladas y sequías, por otro lado (Noli et al., 2004) concluyeron que, la avena Mantaro 15 (INIA-01) fue tolerante a sequías y heladas en la sierra central del Perú, estos genotipos seleccionados son similares a los reportados en la presente investigación.

## V. CONCLUSIONES

- 1 Los genotipos sometidos a tres niveles de riego mostraron resultados muy variables para cada indicador evaluado, por lo que la selección de los genotipos se basó en 5 indicadores de estrés hídrico en simultáneo (vigor de la planta, relación verde senescente<sup>-1</sup>, relación raíz planta<sup>-1</sup>, índice de tolerancia al estrés STI y eficiencia de uso de agua de la productividad EUAp) siendo estos los escogidos de un total de siete indicadores.
- 2 A una tolerancia de estrés hídrico leve del 50 % CC de riego, se seleccionaron siete genotipos: Centenario - Junín (AC-01), INIA 904 Vilcanota - Cusco (INIA-04), Cayuse - Puno (INIA-06), Avena Negra - Junín (NN-02), Avena Negra - Junín (NN-03), Avena Negra - Cusco (NN-04) y Avena Negra - Puno (NN-06), agrupados por similitud.
- 3 A una tolerancia de estrés hídrico moderado del 25 % CC de riego, se seleccionaron los siguientes genotipos: Avena blanca - Junín (NB-03), Avena negra - Puno (NN-01), NN-03 (Avena negra - Junín), Avena negra - Puno (NN-06), Avena negra - Junín (NN-04), Mantaro 15 - Junín (INIA-01) e Vilcanota I - Cuzco (INIA-04), por presentar valores similares y ligeramente superiores a partir del análisis de características múltiples.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- 1 Replicar en condiciones de campo (parcelas) los genotipos: Avena blanca - Junín (NB-03), Avena negra - Puno (NN-01), NN-03 (Avena negra - Junín), Avena negra - Puno (NN-06), Avena negra - Junín (NN-04), Mantaro 15 - Junín (INIA-01) e Vilcanota I - Cuzco (INIA-04), seleccionados como tolerantes a estrés por déficit hídrico de intensidad moderada considerando los 5 indicadores evaluados.
- 2 La eficiencia de uso de agua de la productividad EUAp, es un indicador de estrés hídrico muy importante por lo que se sugiere aplicar al ciclo completo de la avena forrajera.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akcura M. y S. Ceri. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environment conditions. *Zemdirbysté=Agriculture*. 98(2):157-166.

Ahmadizadeh M., Nori A., Shahbazi H y Habibpour M. 2011. Effects of drought stress on some agronomic and morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces under greenhouse condition. *African Journal of Biotechnology*. 10(64) 14097-14107.

Aldás, J. y E. Uriel. 2017. Análisis multivalente aplicado con R. 2nd Edición Paraninfo, Madrid, España.

Álvarez Romero, Roberto Carlos. 2017. Rendimiento y calidad del forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el Valle de Toluca. México, Universidad Autónoma de México.

Álvarez S., Navarro A., Nicolás E. y Sánchez M. J. 2011. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought condition. *Scientia Horticulture* 129:306-312.

Amara I. 2011. Abiotic stress in plants: Late Embryogenesis Abundant proteins. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

Amiri R., S. Bahraminejad, Sh. Sasani y M. Ghobadi. 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20(1):201-211.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists. Edición 15<sup>th</sup> U.S.A.

Argote G y Halanoca M 2007 Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en

[http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_verdeos\\_invierno/45-ARGOTE-GramineasForrajeras.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/45-ARGOTE-GramineasForrajeras.pdf) (consulta 5 junio 2019).

Boussen H., M. Ben Salem, A. Slama, E. Mallek-Maalej y S. Rezgui. 2010. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. Options Méditerranéennes. A:(96)79-83.

Camarena F. y Ponce D. 2017. Bases del análisis de experimentos genéticos aplicados al mejoramiento de plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Chávez E. Paz F. y Bolaños M. 2017. Estimación de biomasa y cobertura aérea usando radiometría e imágenes digitales a nivel de campo en pastizales y matorrales. Terra Latinoamericana. 35 (3) 247-257.

De la Casa A., G. Ovando, L. Bressanini y J. Martínez. 2013. Estimación de la cobertura del suelo y evaluación de la fertilización nitrogenada en papa con registros de cámaras digitales convencionales y modificadas. p. 94-104. Congreso Argentino de AgroInformática. 42 JAIIO - CAI 2013 - ISSN 1852-4850.

De la Casa A., G. Ovando, L. Bressanini, J. Martínez y A. Rodríguez. 2012. Predicción de la variabilidad del rendimiento de papa a partir de la cobertura del follaje. Agriscientia. Vol. XXIX.

De Mendiburu F. 2017. Tutorial de Agricolae (Versión 1.2-8). Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Estadística e Informática de la Facultad de Economía y Planificación. Lima, Perú.

Espitia E., Villaseñor E., Tovar R., De la O M. y Agustín Limón A. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.4. 771-783 p.

FAO. 2012. P. Steduto, T. Hsiao, E. Fereres y D. Raes. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y5765e/y5765e06.htm#bm06> (Consultado 20 de julio 2019).

FAO. 2004. E. Stevens, K. Armstrong, H. Bezar, W. Griffin y J. Hampton. Fodder Oats: a world overview. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf> (consultado 27 julio 2019).

FAOSTAT. Sf. Producción de avena en América del Sur. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org). (Consultado 30 de agosto de 2019).

García R., Flores H., Narváez M. y Osuna. 2016. Eficiencia en el uso del agua y producción de forraje en avena (*Avena sativa* L.) invernal. Seminario Internacional de Agronomía. 5 al 9 de septiembre. Universidad Juárez del Estado de Durango. Mexico. 603-608 pag.

Gómez L. 2018. Mejoramiento Genético en Estrés Biótico y Abiótico. Curso de Maestría en Mejoramiento genético. Manual de divulgación del Programa en Cereales y Granos Nativos. Lima, Perú.

Gonzales A. 2001. Estudio de caracteres fenológicos, agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Bilógicas. 332pp.

Guerra D., Crosatti C., Khoshro H., Mastrangelo A. M., Mica E. y Mazzucotelli E. 2015. Post-transcriptional and post-translational regulations of drought and heat response in plants: A spider's web of mechanisms. ResearchGate. *Frontiers in Genetics* 6(57):14. DOI: 10.3389/fpls.2015.00057.

Hejnak V., Skalicky M., Hnilicka F. y Novak J. 2009. Responses of cereal plants to environmental and climate change: A review. ResearchGate. DOI: 10.1007/978-90-481-2716-0(6). 91-119 p.

Inga N. 2017. Efecto del lombriabono en el cultivo de avena forrajera Mantaro 15 mejorado y Urano en la comunidad de Pampalanya – Huancavelica. Junín. Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista. Universidad Nacional del Centro del Perú. Junín, Perú.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2014. Cambio climático 2014, Informe de síntesis, Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de

Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción, Pachauri P y Meyer L (eds.). p. 157. Ginebra, Suiza.

Irigoyen A., M. Cambareri, L. Echarte y R. Rivas. 2018. Evolución del área foliar en canopeos de maíz creciendo sobre cultivo de cobertura y sobre barbecho limpio en el Sudeste Bonaerense. En XVII Reunión Argentina de Agrometeorología, 19 - 50 septiembre. San Luis, Argentina.

Jaleel C., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Al-juburi J., Somasundaram R. y Panneerselvan R. 2009. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY. 11(1):100–105.

Jurado, G. y Lara, R. 2014. Paquete tecnológico para la producción de avena forrajera en Chihuahua. INIFAP-CIRNOC. Folleto Técnico. No. 51. 35 pp.

Jones H. 2014. Plant and Microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press.

Jurado P. y Lara, C. 2014. Paquete tecnológico para la producción de avena forrajera en Chihuahua. INIFAP-CIRNOC. Mexico. Folleto Técnico. 51pp.

Khayatnezhad M., M. Zaefizadeh, R. Gholamin y Jamaati-e-Somarin. 2010. Study of genetic diversity and Path Analysis for yield in durum wheat genotypes under water and dry condition. World Applied Sciences Journal. 9(6):655-665.

Kozlowski T. 1976. Water deficits and plant growth. Volumen IV. Academic Press. New York. USA. 383pp.

Ladizinsky G. 2012. Studies in oat evolution: A man's life with Avena. Editorial Springer. Facultad de Agricultura. Universidad de Hebrew. Israel. 87pp.

Lara M., Drincovich M. Y Andreo C. 2004. Induction of a Crassulacean Acid-like Metabolism in the C4 Succulent Plant, Portulaca oleracea L.: Study of Enzymes Involved in Carbon Fixation and Carbohydrate Metabolism. Plant Cell Physiol. 45(5): 618-626.

Luna, W., H. Estrada, E. Morales, y O Álvarez. 2015. Estrés por déficit hídrico en plantas: Una revisión. Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia. 30(3): 61-69.

- Lozano, F. 2015. Eficiencia de uso de agua en 15 genotipos de papa (*solanum tuberosum L*) bajo condiciones de estrés por sequía. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Marinissen A., C. Torres y A. Lauric. 2009. Verdeos de Invierno: manejo, experiencias zonales y nuevos materiales. INTA, Centro Regional Buenos Aires Sur (CERBAS), Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Bahía Blanca, Argentina.
- Mohammad A., Shabir H., Soumen B. David B. y Lam-Son P. 2016. Drought stress tolerance in plants, Physiology and Biochemistry. Volumen 1. Springer. Suiza. 526pp.
- Mohammad A., Shabir H., Soumen B. David B. y Lam-Son P. 2016. Drought stress tolerance in plants, Molecular and Genetic Perspective. Volumen 2. Springer. Suiza. 604pp.
- Mohammadi M., R. Karimizadeh y M. Abdipour. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. Australian Journal of Crop Science. 5(4):487-493.
- Montilla G. 2013. Aproximaciones genéticas y moleculares para la mejora de la avena por resistencia a estreses bióticos y abióticos. Tesis para optar el grado de Doctor. Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. Argentina. 191 pp.
- Montoliu. 2010. Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Tesis doctoral para optar el grado de Doctora en Ingeniera Agrónoma. Universidad Jaume I. España.
- Montoya K. 2017. Características agronómicas y valor nutricional de 7 cultivos forrajeros bajo secano en la sierra central. Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Moreno L. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía Colombiana 27(2), 179-191.
- Nazari L. y H. Pakniyat. 2010. Assessment of drought tolerance in barley genotypes. Journal of Applied Science. 10(2):151-156.
- Nestares, A. 2014. Técnicas de conservación de forrajes para la alimentación animal. Lima, Perú. 56pp.



Noli C., A. Nestares y J. Coronel. 2007. La avena forrajera INIA 901 – Mantaro 15 M, alternativa de alimentación para época de estiaje para la ganadería en la sierra del Perú. Extensión Agraria-INIEA: Proyecto Pastos – E.E.A. Santa Ana. Junín, Perú.

Noli C., R. Asto y A. Canto. 2004. Evaluación de variedades de avena forrajera tolerantes a sequías y heladas para producción de forraje verde. Instituto Nacional De Investigación Y Extensión Agraria-INIEA: Proyecto Pastos – E.E.A. Santa Ana. Junín, Perú.

Sánchez Martín, Javier. 2012. Resistencia A Estreses Bióticos Y Abióticos En Avena. Argentina, Universidad De Córdoba. 224 pp.

Sánchez J., Heald J., Kingston A., Winters A., Rubiales D., Sanz M., Mur L. y Prats E. 2015. A metabolic study in oats (*Avena sativa*) highlights a drought tolerance mechanism based upon salicylate signaling pathways and the modulation of carbon antioxidant and photo-oxidative metabolism. *Plant, Cell & Environment*. 38, 1434-1452.

Saravia D. 2011. Tolerancia a sequía y eficiencia de uso del nitrógeno en cuatro clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de Huancayo, Junín. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, PE). 2019. Descarga de base de datos meteorológicos a nivel nacional. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> (consultado 10 septiembre 2019).

Sosa E., E. Cabrera, D. Pérez y L. Ortega. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo México. *Técnica Pecuaria en México*. 46(4):413-426.

Rahman I. y Hasegawa H. 2012. Water Stress. InTech. Croacia. 300pp.

Rivera F. y Roca L. 2017. Efecto de diferentes proporciones de asociación (Avena sativa y Vicia sativa) en la producción de forraje. Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista. Universidad Nacional de Hunacavelica. Perú.

Villazón, D., Rubio Arias, Héctor; Ochoa Rivero, Jesús M.; de la Mora, Celia. 2017. Pronóstico productivo de la avena forrajera de temporal por efecto del cambio climático en el noroeste de Chihuahua, México. *Nova Scientia*, vol. 9, núm. 19. 551-567 pp.

Xu W., K. Cui, A. Xu, L. Nie, J. Huang y S. Peng. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37(2).

Yan W. y I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*. 42(1):11-20.

Yzarra, W. y López, M. 2011. Manual de Observaciones Fenológicas. SENAMHI. MINAM. Lima, Perú. 98pp. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file> (consultado 20 septiembre 2018).

Zaheri A. y S. Bahraminejad. 2012. Assessment of drought tolerance in out (*Avena sativa*) genotype. *Scholars Research Library*. 3(5):2094-2201.

Zhang W., Li C., Qian C. y Cao L. 2009. Studies on the response of root, shoot and drought resistance in the seedling of forage Triticale to water stress. *Journal of Agricultural Science*. Vol.1. N°2.

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1. Registro de las características morfológicas de los 19 genotipos evaluados a 3 niveles de riego.**

GENOTIPO	RIEGO	REP	ALTURA	TALLOS	HOJAS	LONG_HOJA	ANCHO_HOJA	BIOM_RAD_FRESCO	BIOM_RAD_SECO	BIOM_AEREA_FRESCO	BIOM_AEREA_SECA	COB_VERDE	COB_SECA	COB_TOTAL
INIA-04	25%CC	1	64.67	3	8	15.00	1.42	10.00	6.33	13.03	5.27	172.73	56.45	229.18
INIA-04	50%CC	1	90.67	4	7	18.33	1.73	14.57	10.63	23.13	9.80	226.34	93.47	319.81
INIA-04	75%CC	1	102.00	3	7	16.33	1.53	9.90	6.60	23.30	9.20	249.44	95.58	345.02
INIA-04	25%CC	2	56.00	4	7	13.17	1.65	20.03	12.50	28.40	12.10	222.59	159.29	381.88
INIA-04	50%CC	2	78.33	5	8	15.83	1.70	10.90	7.67	29.20	15.20	206.52	153.38	359.90
INIA-04	75%CC	2	105.00	3	7	21.17	1.83	15.27	11.23	30.37	14.30	331.02	144.58	475.61
INIA-04	50%CC	3	88.00	3	7	18.00	1.60	9.83	4.73	19.20	7.03	93.78	157.82	251.60
INIA-04	25%CC	3	50.33	4	7	16.00	1.67	10.00	7.20	15.80	6.37	168.11	111.06	279.17
INIA-04	75%CC	3	119.33	6	8	18.00	1.83	12.13	7.07	50.43	19.67	535.05	165.91	700.96
INIA-04	75%CC	4	100.00	6	6	20.33	1.42	10.37	7.47	30.43	13.43	318.20	154.87	473.06
INIA-04	50%CC	4	74.33	4	8	16.33	1.77	17.13	12.40	27.03	12.17	156.44	203.80	360.24
INIA-04	25%CC	4	45.67	3	7	12.83	1.43	11.23	7.50	13.93	6.97	157.16	137.32	294.48
NN-06	25%CC	1	41.67	4	6	21.00	1.63	12.20	7.57	16.47	5.73	150.00	155.18	305.18
NN-06	50%CC	1	78.33	5	6	24.00	1.70	15.30	10.37	31.17	11.77	257.06	229.17	486.23
NN-06	75%CC	1	89.33	5	7	19.33	1.57	16.80	9.17	33.13	11.00	197.88	187.37	385.25
NN-06	25%CC	2	44.00	4	7	20.67	1.37	13.13	9.53	21.10	7.80	199.53	166.23	365.77
NN-06	50%CC	2	76.00	5	7	15.83	1.50	9.57	7.13	18.73	8.27	141.47	195.09	336.55
NN-06	50%CC	3	76.33	5	7	21.83	1.87	11.90	7.87	28.17	11.33	198.50	319.42	517.92
NN-06	75%CC	2	101.67	4	7	22.33	1.80	12.27	7.67	34.73	13.77	260.86	211.57	472.43
NN-06	25%CC	3	58.00	4	6	21.33	1.65	10.20	7.50	14.37	6.07	277.10	225.48	502.58
NN-06	75%CC	3	98.00	4	6	24.33	1.67	16.53	10.00	31.17	14.47	95.97	271.54	367.50
NN-06	25%CC	4	65.33	3	6	22.33	1.68	12.17	9.53	16.57	6.90	121.63	206.62	328.25
NN-06	50%CC	4	73.33	4	6	22.17	1.73	8.30	5.70	22.27	9.40	128.01	165.27	293.28
NN-06	75%CC	4	88.67	6	6	20.00	1.77	16.20	9.73	45.53	17.13	209.22	232.94	442.16
NN-02	50%CC	1	69.67	6	7	15.33	1.37	9.47	6.97	27.07	11.17	209.67	180.83	390.50

NN-02	25%CC	1	70.67	5	9	14.33	1.37	7.70	5.53	29.57	11.43	161.93	304.58	466.50
NN-02	50%CC	2	74.67	6	8	16.00	1.33	10.10	7.60	34.80	12.77	265.73	245.59	511.31
NN-02	75%CC	1	85.33	5	7	17.00	1.27	13.53	8.57	33.33	12.23	161.52	157.77	319.29
NN-02	50%CC	3	77.33	3	7	20.00	1.70	10.27	7.50	21.07	20.83	169.65	131.20	300.85
NN-02	75%CC	2	79.33	4	7	20.00	1.42	5.80	4.47	21.77	9.73	210.91	98.56	309.47
NN-02	25%CC	2	37.67	4	7	21.67	1.30	10.67	6.83	16.43	5.20	66.30	171.35	237.65
NN-02	75%CC	3	95.33	3	7	20.67	1.47	6.93	5.53	19.80	8.67	195.87	83.21	279.08
NN-02	25%CC	3	41.67	4	8	15.33	1.30	5.87	4.27	14.93	6.17	127.94	128.28	256.22
NN-02	50%CC	4	81.67	4	7	18.00	1.43	12.17	10.43	24.70	12.07	242.41	135.22	377.64
NN-02	75%CC	4	89.67	6	8	15.33	1.37	10.57	9.23	39.70	17.80	395.36	155.74	551.09
NN-02	25%CC	4	30.67	4	7	19.33	1.10	9.57	5.90	14.53	4.83	133.29	78.05	211.34
NN-01	25%CC	1	52.00	3	7	16.33	1.23	10.90	7.20	16.70	7.43	212.30	126.38	338.68
NN-01	50%CC	1	62.00	4	7	17.33	1.17	9.10	6.23	17.33	7.33	210.87	173.13	384.00
NN-01	75%CC	1	85.67	4	5	22.00	1.33	5.27	4.27	30.27	13.23	497.99	238.10	736.09
NN-01	75%CC	2	85.00	4	5	22.00	1.50	9.53	5.90	26.03	10.70	376.51	213.00	589.51
NN-01	25%CC	2	55.67	3	6	20.67	1.20	7.07	5.27	11.13	5.70	160.60	148.97	309.58
NN-01	75%CC	3	80.00	4	5	19.00	1.27	8.13	5.37	24.53	10.43	393.37	165.81	559.18
NN-01	50%CC	2	79.00	4	6	23.33	1.17	5.37	4.57	23.03	9.70	289.11	232.87	521.98
NN-01	75%CC	4	85.00	3	6	21.67	1.23	7.27	4.90	27.03	10.37	374.66	159.61	534.27
NN-01	50%CC	3	65.67	5	7	22.33	1.30	6.87	5.43	26.97	10.73	316.97	183.84	500.82
NN-01	25%CC	3	48.67	4	6	21.00	1.23	9.20	7.30	18.40	8.23	224.40	234.56	458.96
NN-01	50%CC	4	61.33	3	6	20.00	1.23	6.63	5.63	15.00	6.60	234.88	125.93	360.80
NN-01	25%CC	4	48.00	3	6	19.00	1.13	5.53	4.53	14.63	6.63	207.47	169.87	377.34
NN-03	75%CC	1	97.67	4	8	21.17	1.50	8.10	5.20	25.73	11.93	303.55	104.52	408.07
NN-03	25%CC	1	43.00	4	8	20.67	1.32	13.03	8.20	10.23	5.47	130.89	164.73	295.62
NN-03	75%CC	2	98.33	4	7	19.00	1.37	20.17	6.17	16.17	11.23	262.32	128.51	390.82
NN-03	25%CC	2	47.00	4	7	20.00	1.30	13.70	9.53	13.40	5.90	132.78	127.76	260.53

NN-03	50%CC	1	91.33	3	7	19.00	1.40	9.03	6.63	17.87	7.90	157.78	136.51	294.29
NN-03	25%CC	3	48.00	4	7	21.33	1.33	12.50	9.63	16.60	7.23	245.11	128.22	373.32
NN-03	75%CC	3	105.67	4	8	16.83	1.47	8.83	6.63	33.20	13.73	328.49	139.80	468.30
NN-03	50%CC	2	81.00	4	7	17.00	1.17	11.17	8.40	25.10	11.07	230.88	129.81	360.69
NN-03	50%CC	3	78.33	4	8	18.00	1.67	13.13	9.30	32.13	12.73	278.16	177.19	455.34
NN-03	25%CC	4	62.00	3	7	18.33	1.43	9.63	8.03	19.53	8.40	130.10	164.65	294.75
NN-03	50%CC	4	86.00	5	8	18.00	1.70	15.37	11.70	32.50	13.47	281.35	150.87	432.22
NN-03	75%CC	4	84.33	5	7	18.67	1.33	10.27	7.07	36.03	15.17	230.57	102.27	332.84
NN-04	50%CC	1	73.33	4	7	23.67	1.83	11.13	9.20	19.07	9.37	204.83	119.52	324.35
NN-04	50%CC	2	85.33	5	7	21.67	1.83	11.27	7.40	25.10	12.07	197.26	129.28	326.54
NN-04	75%CC	1	90.33	4	6	21.33	1.42	10.40	6.07	23.03	9.30	189.64	109.85	299.48
NN-04	50%CC	3	83.33	4	7	23.17	1.87	10.10	9.83	18.83	11.33	224.36	124.28	348.63
NN-04	75%CC	2	93.67	3	7	19.67	1.80	5.53	3.77	17.87	7.57	151.92	106.08	258.00
NN-04	25%CC	1	59.33	4	8	22.67	1.83	15.40	10.33	18.67	9.13	189.85	157.65	347.50
NN-04	75%CC	3	105.00	4	8	22.83	1.85	11.40	7.83	38.93	16.27	485.61	143.54	629.15
NN-04	25%CC	2	59.00	3	6	22.33	1.37	10.70	7.40	14.00	5.73	173.49	125.92	299.41
NN-04	25%CC	3	62.67	3	7	26.67	2.00	9.90	8.23	11.67	7.67	188.93	133.59	322.52
NN-04	50%CC	4	84.33	3	7	21.33	1.67	8.43	6.30	20.17	9.50	176.28	76.66	252.94
NN-04	75%CC	4	100.00	4	7	23.33	1.75	14.00	9.03	37.50	17.23	367.15	122.48	489.63
NN-04	25%CC	4	50.67	3	7	22.67	1.57	9.27	7.13	15.53	6.80	121.62	200.33	321.95
NN-05	50%CC	1	72.00	6	6	25.00	1.53	12.77	8.47	23.93	9.20	292.53	183.30	475.83
NN-05	25%CC	1	52.00	3	5	22.67	1.13	12.77	6.43	14.00	5.00	206.88	158.99	365.87
NN-05	50%CC	2	81.33	4	6	23.67	1.50	3.83	3.43	21.93	9.80	405.92	152.08	558.00
NN-05	75%CC	1	82.67	4	6	20.67	1.13	1.50	1.17	10.23	8.30	203.35	212.11	415.46
NN-05	25%CC	2	52.00	4	6	20.33	1.40	6.43	4.90	11.53	6.43	202.17	90.74	292.92
NN-05	75%CC	2	81.67	5	6	24.00	1.57	5.90	5.27	30.47	13.13	559.26	184.37	743.64
NN-05	50%CC	3	72.67	3	6	20.67	1.40	8.40	6.73	15.27	7.20	252.82	137.29	390.11

<b>NN-05</b>	75%CC	3	88.67	5	6	21.33	1.10	5.27	4.20	32.70	14.53	556.90	103.14	660.05
<b>NN-05</b>	25%CC	3	59.00	3	6	22.33	1.40	3.30	2.90	13.03	7.13	219.55	158.42	377.97
<b>NN-05</b>	75%CC	4	90.33	4	6	20.33	1.27	5.73	4.10	33.73	14.30	591.07	177.91	768.98
<b>NN-05</b>	50%CC	4	72.67	4	6	19.67	1.27	12.87	6.97	21.97	8.67	297.89	157.22	455.11
<b>NN-05</b>	25%CC	4	55.67	4	6	19.00	1.17	13.30	5.63	11.47	5.67	210.64	149.90	360.54
<b>INIA-02</b>	75%CC	1	81.00	5	7	21.00	1.60	8.40	6.97	21.43	10.53	224.39	146.84	371.23
<b>INIA-02</b>	25%CC	1	61.00	3	6	24.00	1.57	8.20	6.60	11.17	5.97	155.28	105.17	260.45
<b>INIA-02</b>	25%CC	2	41.67	3	6	21.00	1.37	6.43	5.43	8.90	5.00	140.29	127.29	267.58
<b>INIA-02</b>	75%CC	2	80.00	4	6	18.67	1.47	5.70	4.47	21.17	9.20	232.04	78.45	310.49
<b>INIA-02</b>	50%CC	1	82.67	4	6	21.67	1.60	9.67	8.13	19.73	10.33	247.11	178.53	425.64
<b>INIA-02</b>	75%CC	3	95.00	3	7	23.17	1.93	8.70	7.03	23.30	11.27	267.63	135.62	403.25
<b>INIA-02</b>	50%CC	2	79.00	5	7	17.83	1.73	6.77	5.67	21.33	11.13	228.55	97.56	326.11
<b>INIA-02</b>	25%CC	3	53.67	4	7	19.00	1.63	9.37	7.67	14.27	7.33	181.56	89.73	271.30
<b>INIA-02</b>	50%CC	3	82.33	3	8	20.00	1.47	5.53	4.60	15.80	7.90	198.78	78.01	276.79
<b>INIA-02</b>	75%CC	4	95.33	3	6	23.83	1.63	6.60	5.17	20.27	9.93	252.90	50.10	303.00
<b>INIA-02</b>	50%CC	4	74.33	3	7	21.50	1.63	7.20	6.07	17.40	8.77	265.35	60.41	325.76
<b>INIA-02</b>	25%CC	4	51.33	4	6	18.33	1.43	6.87	6.00	12.13	6.33	258.44	8.92	267.35
<b>INIA-03</b>	75%CC	1	90.00	6	6	21.67	1.50	8.13	5.53	27.37	13.13	184.31	196.51	380.83
<b>INIA-03</b>	25%CC	1	57.67	4	7	18.67	1.40	5.80	3.97	13.13	6.20	46.61	165.78	212.39
<b>INIA-03</b>	75%CC	2	92.00	4	8	20.33	1.60	9.37	6.07	25.20	10.17	258.97	186.65	445.63
<b>INIA-03</b>	50%CC	1	72.00	3	7	18.17	1.73	8.93	7.13	19.73	9.03	201.27	99.43	300.70
<b>INIA-03</b>	75%CC	3	86.00	4	6	20.50	1.57	5.70	5.00	24.20	11.87	188.12	109.46	297.57
<b>INIA-03</b>	50%CC	2	73.00	3	7	22.00	1.80	9.23	6.87	22.13	9.83	184.93	62.25	247.18
<b>INIA-03</b>	50%CC	3	67.00	4	6	23.67	1.75	8.33	6.00	27.60	14.10	193.67	132.14	325.81
<b>INIA-03</b>	25%CC	2	45.33	3	5	21.33	1.60	11.80	4.73	6.70	5.17	152.21	78.65	230.85
<b>INIA-03</b>	75%CC	4	97.33	4	6	21.33	1.60	10.00	6.43	31.70	13.37	276.00	84.72	360.72
<b>INIA-03</b>	25%CC	3	35.33	3	6	22.83	1.43	6.17	4.90	6.70	3.93	117.79	105.92	223.70

<b>INIA-03</b>	50%CC	4	72.33	4	6	21.67	1.63	5.70	4.37	11.97	6.70	308.45	42.08	350.52
<b>INIA-03</b>	25%CC	4	54.33	4	7	22.00	1.70	16.20	5.60	8.30	7.53	325.71	23.00	348.71
<b>INIA-05</b>	75%CC	1	105.00	5	5	9.33	0.80	5.43	4.00	26.03	11.80	326.08	160.00	486.08
<b>INIA-05</b>	25%CC	1	64.67	5	5	11.67	0.90	12.60	8.70	17.77	7.83	144.91	229.85	374.76
<b>INIA-05</b>	50%CC	1	81.67	5	5	11.33	0.77	7.67	4.47	20.00	6.87	176.84	147.72	324.56
<b>INIA-05</b>	75%CC	2	106.00	4	6	11.00	0.77	4.73	3.03	24.90	10.00	479.44	152.29	631.73
<b>INIA-05</b>	50%CC	2	92.33	4	6	9.33	0.77	7.50	4.10	21.37	8.00	278.96	86.46	365.42
<b>INIA-05</b>	25%CC	2	49.67	6	5	10.33	0.77	8.67	5.37	18.53	6.50	103.86	79.24	183.11
<b>INIA-05</b>	50%CC	3	86.67	7	6	12.67	0.87	10.53	6.97	24.20	9.73	293.42	132.79	426.21
<b>INIA-05</b>	25%CC	3	75.00	4	6	11.67	0.83	5.70	3.67	14.00	6.33	187.34	115.42	302.76
<b>INIA-05</b>	75%CC	3	106.67	4	5	9.67	0.77	6.87	4.53	19.20	7.80	283.98	108.49	392.47
<b>INIA-05</b>	50%CC	4	84.67	5	5	10.67	1.23	6.50	4.43	24.47	10.30	317.42	172.30	489.72
<b>INIA-05</b>	75%CC	4	107.00	8	6	12.00	0.83	11.17	6.00	34.53	12.13	501.42	140.67	642.09
<b>INIA-05</b>	25%CC	4	69.00	8	5	13.33	0.88	7.50	4.83	18.20	7.50	156.02	105.77	261.80
<b>INIA-06</b>	50%CC	1	67.67	4	7	15.17	1.90	12.77	7.87	28.03	11.33	326.76	22.99	349.75
<b>INIA-06</b>	50%CC	2	80.67	3	7	15.83	1.73	15.67	7.67	31.97	12.17	350.61	8.25	358.86
<b>INIA-06</b>	75%CC	1	94.67	4	7	18.50	1.93	15.17	9.73	38.30	15.17	450.11	32.86	482.98
<b>INIA-06</b>	25%CC	1	53.00	3	8	16.33	1.47	10.03	5.37	14.37	5.80	230.34	31.32	261.66
<b>INIA-06</b>	75%CC	2	94.33	3	7	16.67	1.73	8.73	5.00	30.17	12.50	317.51	34.90	352.41
<b>INIA-06</b>	25%CC	2	59.33	3	7	16.33	1.87	11.10	5.00	19.20	6.87	192.73	39.12	231.85
<b>INIA-06</b>	50%CC	3	81.67	3	6	16.00	1.70	11.53	6.50	25.53	9.73	261.03	48.51	309.53
<b>INIA-06</b>	75%CC	3	91.33	6	7	14.00	1.67	16.07	11.17	40.37	17.30	419.73	24.49	444.22
<b>INIA-06</b>	25%CC	3	53.67	3	7	15.67	1.67	13.70	5.80	17.57	6.87	218.38	10.88	229.26
<b>INIA-06</b>	50%CC	4	73.67	4	8	12.50	1.70	16.83	7.77	29.47	10.90	315.40	12.61	328.01
<b>INIA-06</b>	75%CC	4	88.00	3	7	15.33	1.57	11.33	6.60	31.87	12.77	350.06	6.32	356.38
<b>INIA-06</b>	25%CC	4	49.67	4	7	16.50	1.63	10.53	5.00	18.00	6.70	259.49	23.20	282.69
<b>INIA-01</b>	75%CC	1	100.00	4	6	15.67	1.40	9.63	5.70	33.77	12.07	318.76	18.20	336.97



<b>INIA-01</b>	25%CC	1	54.33	4	6	17.67	1.60	12.40	6.43	15.37	4.80	188.30	40.69	228.99
<b>INIA-01</b>	75%CC	2	96.67	4	6	15.83	1.57	12.03	6.97	17.33	7.63	380.08	19.05	399.14
<b>INIA-01</b>	25%CC	2	55.33	3	7	17.67	1.47	11.70	6.60	15.33	11.17	228.07	36.49	264.56
<b>INIA-01</b>	50%CC	1	99.67	3	6	16.33	1.60	14.50	7.83	24.80	9.93	322.30	67.92	390.22
<b>INIA-01</b>	25%CC	3	66.33	3	7	15.67	1.60	17.67	8.67	23.13	9.10	130.37	114.65	245.02
<b>INIA-01</b>	75%CC	3	103.67	4	6	21.33	1.73	11.87	6.60	28.20	11.07	262.81	73.06	335.87
<b>INIA-01</b>	50%CC	2	88.33	3	6	16.00	1.50	16.00	5.97	22.67	7.70	176.91	100.81	277.73
<b>INIA-01</b>	75%CC	4	90.67	4	6	15.33	1.53	10.37	5.67	20.10	7.73	209.96	62.27	272.23
<b>INIA-01</b>	50%CC	3	83.67	4	6	12.33	1.50	18.77	7.87	28.20	9.27	191.27	93.54	284.81
<b>INIA-01</b>	50%CC	4	92.33	4	7	15.33	1.67	22.83	8.73	30.97	11.37	208.29	167.83	376.12
<b>INIA-01</b>	25%CC	4	62.67	3	6	16.33	1.57	18.30	9.20	16.90	6.13	138.03	176.96	314.99
<b>NB-03</b>	25%CC	1	37.33	3	7	17.67	1.37	13.40	8.67	14.57	4.70	72.92	157.55	230.48
<b>NB-03</b>	75%CC	1	76.00	2	7	19.00	1.58	9.20	3.80	20.00	6.30	136.80	149.75	286.55
<b>NB-03</b>	50%CC	1	88.00	3	7	16.33	1.63	13.67	5.63	26.97	11.77	199.01	205.71	404.72
<b>NB-03</b>	75%CC	2	73.67	4	8	17.00	1.52	11.07	10.00	30.37	7.80	202.54	139.70	342.23
<b>NB-03</b>	75%CC	3	90.00	4	8	17.00	1.87	10.53	6.70	29.00	10.27	281.65	188.53	470.18
<b>NB-03</b>	25%CC	2	56.67	2	7	21.67	1.63	7.23	5.77	18.13	7.37	130.28	118.97	249.24
<b>NB-03</b>	50%CC	2	64.67	3	7	15.67	1.37	14.63	7.30	23.40	8.40	200.44	171.13	371.58
<b>NB-03</b>	75%CC	4	87.33	3	8	21.00	1.60	10.43	5.67	29.10	10.77	255.58	274.05	529.63
<b>NB-03</b>	25%CC	3	37.33	3	6	16.00	1.07	9.97	7.00	13.13	5.40	93.62	168.57	262.19
<b>NB-03</b>	50%CC	3	77.00	4	8	15.33	1.50	10.70	5.53	23.93	8.20	134.16	198.16	332.32
<b>NB-03</b>	25%CC	4	64.00	3	7	14.33	1.43	11.53	6.40	18.83	6.73	123.36	192.08	315.43
<b>NB-03</b>	50%CC	4	70.00	3	8	12.67	1.47	13.57	6.70	26.83	9.63	127.22	206.66	333.88
<b>AC-01</b>	75%CC	1	98.33	3	7	17.00	1.70	10.10	7.40	26.33	14.03	154.48	197.22	351.70
<b>AC-01</b>	25%CC	1	55.33	3	6	16.67	1.60	9.00	4.73	14.80	6.60	63.46	235.97	299.43
<b>AC-01</b>	50%CC	1	71.67	3	6	19.00	1.53	13.97	9.80	15.63	7.17	56.42	267.20	323.62
<b>AC-01</b>	25%CC	2	45.67	3	6	16.33	1.50	8.37	5.80	18.93	9.83	64.39	190.48	254.86

AC-01	75%CC	2	105.00	3	6	20.67	2.10	5.33	3.10	19.73	9.23	177.25	221.46	398.72
AC-01	50%CC	2	92.33	3	7	17.33	1.87	14.63	9.37	27.13	15.37	170.52	192.48	363.00
AC-01	50%CC	3	75.67	3	6	19.33	1.60	9.53	4.57	16.70	7.40	83.89	163.06	246.95
AC-01	25%CC	3	44.67	3	7	15.17	1.33	7.13	5.40	14.63	7.73	102.83	186.98	289.81
AC-01	75%CC	3	85.00	4	6	20.33	1.67	10.83	6.07	28.03	14.93	150.28	275.72	425.99
AC-01	50%CC	4	70.00	4	6	17.67	1.67	20.33	10.63	14.63	7.40	101.14	241.97	343.10
AC-01	25%CC	4	50.33	3	7	19.00	1.87	9.20	5.37	6.87	3.83	95.66	184.90	280.57
AC-01	75%CC	4	86.00	2	7	18.00	1.77	5.63	3.87	16.07	9.53	116.73	146.25	262.97
NB-06	75%CC	1	81.67	4	7	17.67	1.47	11.07	4.57	25.70	8.03	144.15	221.00	365.15
NB-06	50%CC	1	74.00	4	7	13.83	1.43	10.80	5.90	23.30	9.73	143.18	190.52	333.71
NB-06	75%CC	2	87.33	4	7	20.00	1.77	12.87	7.97	26.20	16.13	188.59	147.26	335.85
NB-06	50%CC	2	86.67	3	7	20.17	1.57	29.07	7.40	14.90	8.03	221.09	244.82	465.91
NB-06	25%CC	1	42.50	4	7	18.00	1.60	21.07	5.00	27.93	6.70	162.31	190.65	352.96
NB-06	25%CC	2	49.33	3	7	16.33	1.60	14.83	6.60	22.50	7.77	137.57	120.79	258.36
NB-06	75%CC	3	72.00	3	7	17.33	1.67	9.83	6.07	22.87	9.30	173.22	104.46	277.68
NB-06	25%CC	3	47.00	2	7	20.67	1.57	12.87	3.93	17.03	5.97	122.07	80.05	202.12
NB-06	50%CC	3	76.33	4	8	13.33	1.63	15.03	5.53	29.63	8.93	231.45	62.61	294.06
NB-06	75%CC	4	85.67	4	8	17.67	1.57	8.13	5.17	25.67	9.20	203.34	66.56	269.89
NB-06	25%CC	4	61.33	3	8	15.00	1.47	17.57	6.87	19.37	7.23	186.07	131.07	317.14
NB-06	50%CC	4	72.33	4	8	14.00	1.57	11.77	7.03	27.30	10.00	233.24	83.95	317.19
NB-05	25%CC	1	48.67	4	6	17.67	1.35	6.27	4.77	12.40	5.50	151.10	170.94	322.04
NB-05	50%CC	1	84.00	4	7	17.33	1.60	13.73	8.57	23.50	11.33	231.06	193.68	424.74
NB-05	75%CC	1	92.33	3	6	24.33	1.53	6.60	5.17	20.80	9.20	283.54	146.65	430.19
NB-05	25%CC	2	72.67	4	7	18.33	1.43	10.63	8.23	13.47	6.23	124.76	113.50	238.26
NB-05	50%CC	2	81.67	4	6	20.00	1.43	10.10	8.40	21.87	10.53	180.37	261.94	442.32
NB-05	75%CC	2	94.67	4	7	19.00	1.50	7.07	5.97	18.73	9.20	295.07	135.48	430.55
NB-05	25%CC	3	59.33	3	6	23.33	1.33	4.73	3.67	8.77	4.73	113.35	134.74	248.09

NB-05	75%CC	3	94.67	3	6	22.33	1.57	6.70	5.37	18.30	8.30	263.35	86.80	350.14
NB-05	25%CC	4	48.33	4	6	17.33	1.30	5.17	3.93	11.70	5.37	97.49	188.35	285.84
NB-05	50%CC	3	80.33	4	7	18.00	1.37	7.23	5.73	17.33	8.50	215.42	180.94	396.35
NB-05	50%CC	4	82.67	4	7	17.33	1.40	9.20	7.33	19.47	9.53	218.84	154.35	373.19
NB-05	75%CC	4	104.33	3	7	19.67	1.57	9.63	7.23	27.10	12.67	342.17	183.46	525.63
NB-04	75%CC	1	92.00	4	8	20.33	1.67	21.33	11.23	36.60	13.13	261.47	92.59	354.06
NB-04	25%CC	1	41.67	3	8	16.00	1.70	18.20	6.50	19.90	7.00	174.80	62.93	237.73
NB-04	50%CC	1	81.67	4	7	17.33	1.77	31.77	5.63	33.27	11.33	228.94	75.79	304.73
NB-04	25%CC	2	60.67	3	7	17.67	1.57	10.53	4.90	19.20	6.77	151.85	60.41	212.26
NB-04	75%CC	2	90.33	3	8	22.67	1.73	15.00	10.80	32.93	11.53	251.95	69.26	321.20
NB-04	50%CC	2	77.67	3	8	17.33	1.63	29.63	11.07	32.00	11.53	216.80	84.13	300.94
NB-04	25%CC	3	42.33	3	7	19.67	1.57	9.00	4.33	15.80	5.83	151.35	33.34	184.69
NB-04	75%CC	3	75.33	3	8	18.67	1.63	17.60	8.47	28.47	9.30	230.27	60.93	291.20
NB-04	50%CC	3	70.67	4	6	15.67	1.53	11.17	5.53	22.23	8.47	192.50	52.09	244.59
NB-04	25%CC	4	46.33	3	9	15.00	1.60	8.63	4.57	21.43	7.23	179.44	70.84	250.28
NB-04	50%CC	4	58.33	3	8	16.00	1.53	26.87	8.57	30.87	9.10	218.42	42.29	260.71
NB-04	75%CC	4	79.00	3	8	22.00	1.70	17.50	6.60	28.40	8.93	239.63	36.32	275.95
NB-01	75%CC	1	89.67	3	8	18.33	1.77	7.77	6.17	21.33	10.80	246.01	53.79	299.80
NB-01	75%CC	2	88.00	2	7	18.67	1.67	9.10	7.50	18.40	9.73	262.15	48.51	310.66
NB-01	25%CC	1	51.00	2	8	19.67	1.57	7.93	5.53	12.40	5.27	159.05	54.11	213.16
NB-01	75%CC	3	87.00	3	7	21.67	1.60	8.13	6.23	18.20	11.90	240.12	34.06	274.18
NB-01	50%CC	1	75.67	3	8	20.00	2.10	13.00	7.10	35.10	14.60	257.80	103.58	361.39
NB-01	75%CC	4	88.67	3	7	23.33	1.67	11.67	7.93	29.23	11.97	180.32	52.17	232.49
NB-01	25%CC	2	47.67	3	7	18.17	1.70	10.00	5.17	20.10	8.93	229.13	70.65	299.78
NB-01	50%CC	2	65.67	4	8	17.67	1.70	7.00	5.00	22.77	9.37	216.09	74.13	290.22
NB-01	25%CC	3	48.00	3	7	18.33	1.50	8.67	6.23	16.87	8.93	234.34	54.66	289.00
NB-01	25%CC	4	61.67	3	7	16.00	1.53	6.30	4.90	14.10	9.20	130.68	42.37	173.05

<b>NB-01</b>	50%CC	3	71.67	1	8	19.00	1.60	5.17	4.47	10.43	7.00	155.44	34.09	189.53
<b>NB-01</b>	50%CC	4	65.67	4	7	18.33	1.60	6.43	4.63	18.83	9.63	169.43	90.50	259.93
<b>NB-02</b>	25%CC	1	39.00	3	7	18.67	1.60	8.03	6.07	8.27	4.83	153.58	56.19	209.77
<b>NB-02</b>	50%CC	1	77.33	3	8	16.33	1.50	12.63	9.20	20.17	12.93	237.21	65.29	302.50
<b>NB-02</b>	75%CC	1	85.67	3	7	20.67	1.47	11.67	5.80	21.70	9.73	184.20	48.58	232.78
<b>NB-02</b>	50%CC	2	67.00	3	8	17.00	1.67	9.40	6.07	18.93	8.30	221.07	39.39	260.46
<b>NB-02</b>	75%CC	2	73.00	4	8	20.00	1.53	12.77	8.93	21.43	12.03	219.81	47.17	266.98
<b>NB-02</b>	50%CC	3	65.00	2	8	16.67	1.50	6.60	4.03	16.97	10.07	147.06	26.50	173.56
<b>NB-02</b>	75%CC	3	68.00	3	8	18.33	1.57	8.30	4.73	16.97	8.13	181.58	31.41	212.99
<b>NB-02</b>	25%CC	2	43.00	3	7	14.67	1.50	9.00	5.10	14.60	6.87	149.61	42.59	192.20
<b>NB-02</b>	25%CC	3	42.67	2	8	20.67	1.33	9.73	6.97	11.60	6.43	114.77	38.68	153.45
<b>NB-02</b>	25%CC	4	42.67	4	7	22.33	1.20	5.63	4.27	9.73	5.83	106.49	13.50	119.99
<b>NB-02</b>	75%CC	4	81.67	3	7	20.67	1.57	11.50	5.43	15.80	6.90	163.18	33.89	197.06
<b>NB-02</b>	50%CC	4	79.67	4	8	16.67	1.70	11.43	9.47	24.20	15.90	295.13	105.02	400.15

—

**ANEXO 2. Registro de los indicadores de los 19 genotipos evaluados a 3 niveles de riego.**

GENOTIPO	RIEGO	REP	ALTURA	AREA_FOLIAR	RAIZ_PLANTA	VERDE_SENES	MSTI	EUAp
INIA-04	25%CC	1	64.67	120.03	1.20	1.49	0.34	0.01229908
INIA-04	50%CC	1	90.67	167.91	1.09	1.38	0.97	0.0069628
INIA-04	75%CC	1	102.00	129.00	0.72	1.42	0.63	0.00166592
INIA-04	25%CC	2	56.00	119.70	1.03	1.15	4.18	0.02311016
INIA-04	50%CC	2	78.33	164.10	0.50	1.13	3.62	0.01030895
INIA-04	75%CC	2	105.00	215.03	0.79	1.36	2.36	0.00377694
INIA-04	50%CC	3	88.00	142.80	0.67	0.77	0.36	0.00440814
INIA-04	25%CC	3	50.33	140.53	1.13	1.18	0.61	0.02927573
INIA-04	75%CC	3	119.33	189.20	0.36	1.51	6.13	0.00553125
INIA-04	75%CC	4	100.00	121.31	0.56	1.31	1.95	0.00288419
INIA-04	50%CC	4	74.33	166.83	1.02	0.89	1.86	0.00766728
INIA-04	25%CC	4	45.67	98.44	1.08	1.06	0.80	0.02478683
NN-06	25%CC	1	41.67	160.65	1.32	0.99	0.44	0.016908
NN-06	50%CC	1	78.33	182.90	0.88	1.05	1.67	0.00703233
NN-06	75%CC	1	89.33	151.63	0.83	1.02	1.07	0.00264796
NN-06	25%CC	2	44.00	148.23	1.22	1.08	1.12	0.03378027
NN-06	50%CC	2	76.00	120.69	0.86	0.86	0.58	0.00590828
NN-06	50%CC	3	76.33	203.39	0.69	0.79	1.49	0.00935206
NN-06	75%CC	2	101.67	200.50	0.56	1.09	2.09	0.00355109
NN-06	25%CC	3	58.00	165.33	1.24	1.09	0.52	0.04862082
NN-06	75%CC	3	98.00	199.55	0.69	0.55	2.43	0.00397971
NN-06	25%CC	4	65.33	176.28	1.38	0.77	0.77	0.04631065
NN-06	50%CC	4	73.33	164.00	0.61	0.89	0.85	0.00614238
NN-06	75%CC	4	88.67	159.00	0.57	0.95	4.04	0.00450804
NN-02	50%CC	1	69.67	104.34	0.62	1.06	1.23	0.00664446
NN-02	25%CC	1	70.67	132.53	0.48	0.73	3.02	0.00994512
NN-02	50%CC	2	74.67	122.28	0.60	1.03	1.83	0.00593365
NN-02	75%CC	1	85.33	113.40	0.70	1.01	1.26	0.00383238
NN-02	50%CC	3	77.33	179.38	0.36	1.11	7.97	0.01243663
NN-02	75%CC	2	79.33	150.15	0.46	1.33	0.64	0.00272241
NN-02	25%CC	2	37.67	140.40	1.31	0.59	0.28	0.05262161
NN-02	75%CC	3	95.33	152.25	0.64	1.37	0.45	0.00183943
NN-02	25%CC	3	41.67	119.13	0.69	1.00	0.47	0.01659016
NN-02	50%CC	4	81.67	138.30	0.86	1.25	1.55	0.00817278
NN-02	75%CC	4	89.67	128.20	0.52	1.40	3.89	0.00425288
NN-02	25%CC	4	30.67	106.15	1.22	1.23	0.23	0.02622662
NN-01	25%CC	1	52.00	100.20	0.97	1.23	0.77	0.04034
NN-01	50%CC	1	62.00	111.00	0.85	1.09	0.32	0.00617127
NN-01	75%CC	1	85.67	117.95	0.32	1.32	1.48	0.00653883

NN-01	75%CC	2	85.00	120.45	0.55	1.25	0.78	0.00305052
NN-01	25%CC	2	55.67	104.93	0.92	1.03	0.35	0.03594371
NN-01	75%CC	3	80.00	95.43	0.51	1.38	0.72	0.00336993
NN-01	50%CC	2	79.00	123.00	0.47	1.09	0.74	0.00705384
NN-01	75%CC	4	85.00	127.45	0.47	1.37	0.71	0.00327137
NN-01	50%CC	3	65.67	144.95	0.51	1.24	1.01	0.00770918
NN-01	25%CC	3	48.67	122.63	0.89	0.98	1.04	0.04424275
NN-01	50%CC	4	61.33	118.50	0.85	1.27	0.23	0.00571191
NN-01	25%CC	4	48.00	92.45	0.68	1.09	0.54	0.01584471
NN-03	75%CC	1	97.67	184.53	0.44	1.46	1.26	0.00301433
NN-03	25%CC	1	43.00	161.20	1.50	0.90	0.35	0.02479694
NN-03	75%CC	2	98.33	131.95	0.55	1.31	1.05	0.00285445
NN-03	25%CC	2	47.00	132.98	1.62	1.02	0.45	0.02937892
NN-03	50%CC	1	91.33	139.30	0.84	1.06	0.47	0.00600577
NN-03	25%CC	3	48.00	147.00	1.33	1.28	0.82	0.02326308
NN-03	75%CC	3	105.67	148.40	0.48	1.37	1.92	0.00360404
NN-03	50%CC	2	81.00	103.58	0.76	1.25	1.28	0.00828803
NN-03	50%CC	3	78.33	174.85	0.73	1.20	1.96	0.00922438
NN-03	25%CC	4	62.00	146.50	0.96	0.90	1.29	0.03827521
NN-03	50%CC	4	86.00	199.70	0.87	1.27	2.32	0.0084696
NN-03	75%CC	4	84.33	137.30	0.47	1.35	2.59	0.00403091
NN-04	50%CC	1	73.33	239.33	0.98	1.23	0.75	0.0074981
NN-04	50%CC	2	85.33	227.68	0.61	1.18	1.61	0.00661728
NN-04	75%CC	1	90.33	133.06	0.65	1.24	0.58	0.00274587
NN-04	50%CC	3	83.33	215.54	0.87	1.26	1.33	0.00942167
NN-04	75%CC	2	93.67	186.38	0.50	1.16	0.31	0.00140615
NN-04	25%CC	1	59.33	235.65	1.13	1.08	1.60	0.02434074
NN-04	75%CC	3	105.00	264.18	0.48	1.53	3.09	0.0037769
NN-04	25%CC	2	59.00	145.95	1.29	1.14	0.40	0.03147267
NN-04	25%CC	3	62.67	281.40	1.07	1.15	0.95	0.03116975
NN-04	50%CC	4	84.33	186.20	0.66	1.36	0.79	0.00606119
NN-04	75%CC	4	100.00	214.81	0.52	1.48	3.67	0.00352958
NN-04	25%CC	4	50.67	184.20	1.05	0.78	0.66	0.02368071
NN-05	50%CC	1	72.00	162.75	0.92	1.20	0.71	0.00961683
NN-05	25%CC	1	52.00	102.00	1.29	1.11	0.26	0.02510117
NN-05	50%CC	2	81.33	159.75	0.35	1.43	0.86	0.00580567
NN-05	75%CC	1	82.67	101.55	0.14	0.98	0.41	0.00176311
NN-05	25%CC	2	52.00	136.80	0.76	1.35	0.56	0.0195354
NN-05	75%CC	2	81.67	169.70	0.40	1.48	1.62	0.00445494
NN-05	50%CC	3	72.67	130.90	0.94	1.27	0.34	0.00790101
NN-05	75%CC	3	88.67	99.85	0.29	1.73	2.20	0.00346662
NN-05	25%CC	3	59.00	148.40	0.41	1.14	0.76	0.01642834
NN-05	75%CC	4	90.33	111.60	0.29	1.52	2.09	0.00378922

NN-05	50%CC	4	72.67	118.73	0.80	1.28	0.60	0.00759734
NN-05	25%CC	4	55.67	101.00	0.99	1.15	0.38	0.0152959
INIA-02	75%CC	1	81.00	178.55	0.66	1.18	0.68	0.00275354
INIA-02	25%CC	1	61.00	180.00	1.11	1.17	0.36	0.02186597
INIA-02	25%CC	2	41.67	136.20	1.09	1.04	0.21	0.01961903
INIA-02	75%CC	2	80.00	140.18	0.49	1.47	0.45	0.00225576
INIA-02	50%CC	1	82.67	173.80	0.79	1.14	0.82	0.00677198
INIA-02	75%CC	3	95.00	241.15	0.62	1.30	0.83	0.0030635
INIA-02	50%CC	2	79.00	169.83	0.51	1.37	1.03	0.00634686
INIA-02	25%CC	3	53.67	156.10	1.05	1.31	0.67	0.02714081
INIA-02	50%CC	3	82.33	169.00	0.58	1.41	0.37	0.00610867
INIA-02	75%CC	4	95.33	178.58	0.52	1.70	0.57	0.00328797
INIA-02	50%CC	4	74.33	176.15	0.69	1.64	0.50	0.00940469
INIA-02	25%CC	4	51.33	124.90	0.95	2.46	0.43	0.0182875
INIA-03	75%CC	1	90.00	153.25	0.42	0.97	1.57	0.00277269
INIA-03	25%CC	1	57.67	131.25	0.64	0.45	0.48	0.02030018
INIA-03	75%CC	2	92.00	184.75	0.60	1.14	0.73	0.00272512
INIA-03	50%CC	1	72.00	157.38	0.79	1.31	0.65	0.00655776
INIA-03	75%CC	3	86.00	145.13	0.42	1.24	1.16	0.00304475
INIA-03	50%CC	2	73.00	198.63	0.70	1.47	0.84	0.00768296
INIA-03	50%CC	3	67.00	182.56	0.43	1.17	2.48	0.00653995
INIA-03	25%CC	2	45.33	136.25	0.92	1.29	0.28	0.01222529
INIA-03	75%CC	4	97.33	161.50	0.48	1.51	1.65	0.00489191
INIA-03	25%CC	3	35.33	149.19	1.25	1.05	0.12	0.01613198
INIA-03	50%CC	4	72.33	168.08	0.65	1.87	0.27	0.00410826
INIA-03	25%CC	4	54.33	196.35	0.74	2.15	0.87	0.01737397
INIA-05	75%CC	1	105.00	30.00	0.34	1.31	0.98	0.00274064
INIA-05	25%CC	1	64.67	41.85	1.11	0.80	0.84	0.02351001
INIA-05	50%CC	1	81.67	34.60	0.65	1.08	0.25	0.00624246
INIA-05	75%CC	2	106.00	36.03	0.30	1.50	0.59	0.00340336
INIA-05	50%CC	2	92.33	30.45	0.51	1.51	0.39	0.00721613
INIA-05	25%CC	2	49.67	32.08	0.83	1.12	0.48	0.02524572
INIA-05	50%CC	3	86.67	46.43	0.72	1.34	0.70	0.00790899
INIA-05	25%CC	3	75.00	41.10	0.58	1.21	0.44	0.01721743
INIA-05	75%CC	3	106.67	29.88	0.58	1.42	0.28	0.00288335
INIA-05	50%CC	4	84.67	48.25	0.43	1.27	0.83	0.00822329
INIA-05	75%CC	4	107.00	42.60	0.49	1.55	1.06	0.00345964
INIA-05	25%CC	4	69.00	47.34	0.64	1.17	0.73	0.02846877
INIA-06	50%CC	1	67.67	157.66	0.69	2.15	1.53	0.00811045
INIA-06	50%CC	2	80.67	154.36	0.63	2.63	1.89	0.00704259
INIA-06	75%CC	1	94.67	190.31	0.64	2.14	2.87	0.00407664
INIA-06	25%CC	1	53.00	143.80	0.93	1.87	0.47	0.03091861
INIA-06	75%CC	2	94.33	150.00	0.40	1.96	1.61	0.00209976

<b>INIA-06</b>	25%CC	2	59.33	167.68	0.73	1.69	0.78	0.01274332
<b>INIA-06</b>	50%CC	3	81.67	129.40	0.67	1.73	0.97	0.00740791
<b>INIA-06</b>	75%CC	3	91.33	128.40	0.65	2.23	4.26	0.00369082
<b>INIA-06</b>	25%CC	3	53.67	138.25	0.84	2.30	0.78	0.01750934
<b>INIA-06</b>	50%CC	4	73.67	121.98	0.71	2.40	1.36	0.00927581
<b>INIA-06</b>	75%CC	4	88.00	133.93	0.52	2.74	1.71	0.00264051
<b>INIA-06</b>	25%CC	4	49.67	147.38	0.75	2.05	0.72	0.03022865
<b>INIA-01</b>	75%CC	1	100.00	98.70	0.47	2.24	0.96	0.00251524
<b>INIA-01</b>	25%CC	1	54.33	132.08	1.34	1.67	0.18	0.05819576
<b>INIA-01</b>	75%CC	2	96.67	119.56	0.91	2.30	0.24	0.00174005
<b>INIA-01</b>	25%CC	2	55.33	129.13	0.59	1.80	2.24	0.02474041
<b>INIA-01</b>	50%CC	1	99.67	119.40	0.79	1.68	0.69	0.00635848
<b>INIA-01</b>	25%CC	3	66.33	125.45	0.95	1.06	1.21	0.02588836
<b>INIA-01</b>	75%CC	3	103.67	157.65	0.60	1.56	0.74	0.00290961
<b>INIA-01</b>	50%CC	2	88.33	114.30	0.77	1.24	0.32	0.00608675
<b>INIA-01</b>	75%CC	4	90.67	97.40	0.73	1.53	0.25	0.00243158
<b>INIA-01</b>	50%CC	3	83.67	88.13	0.85	1.31	0.56	0.00815857
<b>INIA-01</b>	50%CC	4	92.33	129.85	0.77	1.09	1.03	0.00709089
<b>INIA-01</b>	25%CC	4	62.67	120.35	1.50	0.89	0.37	0.03196176
<b>NB-03</b>	25%CC	1	37.33	120.18	1.84	0.67	0.17	0.03390232
<b>NB-03</b>	75%CC	1	76.00	164.85	0.60	0.96	0.14	0.00157187
<b>NB-03</b>	50%CC	1	88.00	145.78	0.48	0.99	1.17	0.00668654
<b>NB-03</b>	75%CC	2	73.67	163.85	0.85	1.16	0.27	0.00382387
<b>NB-03</b>	75%CC	3	90.00	181.70	0.65	1.17	0.61	0.00207159
<b>NB-03</b>	25%CC	2	56.67	190.83	0.78	1.04	0.66	0.02041863
<b>NB-03</b>	50%CC	2	64.67	114.28	0.87	1.07	0.42	0.00640521
<b>NB-03</b>	75%CC	4	87.33	192.00	0.53	0.97	0.70	0.00217083
<b>NB-03</b>	25%CC	3	37.33	80.00	1.30	0.74	0.26	0.02154661
<b>NB-03</b>	50%CC	3	77.00	138.60	0.67	0.83	0.40	0.00491713
<b>NB-03</b>	25%CC	4	64.00	112.55	0.95	0.81	0.50	0.03839033
<b>NB-03</b>	50%CC	4	70.00	111.60	0.70	0.79	0.64	0.00595104
<b>AC-01</b>	75%CC	1	98.33	151.55	0.53	0.89	1.88	0.00300821
<b>AC-01</b>	25%CC	1	55.33	125.93	0.72	0.43	0.57	0.01616346
<b>AC-01</b>	50%CC	1	71.67	131.10	1.37	0.32	0.32	0.00728674
<b>AC-01</b>	25%CC	2	45.67	109.83	0.59	0.53	1.89	0.03493873
<b>AC-01</b>	75%CC	2	105.00	192.60	0.34	0.90	0.54	0.00199294
<b>AC-01</b>	50%CC	2	92.33	162.20	0.61	0.95	3.15	0.00964269
<b>AC-01</b>	50%CC	3	75.67	139.50	0.62	0.71	0.35	0.0049364
<b>AC-01</b>	25%CC	3	44.67	101.34	0.70	0.74	0.92	0.02219181
<b>AC-01</b>	75%CC	3	85.00	142.90	0.41	0.74	2.26	0.00408841
<b>AC-01</b>	50%CC	4	70.00	137.30	1.44	0.62	0.35	0.00855608
<b>AC-01</b>	25%CC	4	50.33	188.13	1.40	0.71	0.11	0.01411938
<b>AC-01</b>	75%CC	4	86.00	157.68	0.41	0.90	0.59	0.00359313



<b>NB-06</b>	75%CC	1	81.67	129.90	0.57	0.81	0.32	0.00216077
<b>NB-06</b>	50%CC	1	74.00	108.41	0.61	0.88	0.72	0.00700544
<b>NB-06</b>	75%CC	2	87.33	185.85	0.49	1.11	2.55	0.00352644
<b>NB-06</b>	50%CC	2	86.67	175.23	0.92	0.96	0.40	0.00508693
<b>NB-06</b>	25%CC	1	42.50	100.80	0.75	0.93	0.54	0.02022915
<b>NB-06</b>	25%CC	2	49.33	137.55	0.85	1.06	0.83	0.01765561
<b>NB-06</b>	75%CC	3	72.00	158.70	0.65	1.22	0.49	0.00200001
<b>NB-06</b>	25%CC	3	47.00	160.65	0.66	1.18	0.38	0.0138227
<b>NB-06</b>	50%CC	3	76.33	135.08	0.62	1.57	0.55	0.0051345
<b>NB-06</b>	75%CC	4	85.67	172.00	0.56	1.49	0.47	0.00167481
<b>NB-06</b>	25%CC	4	61.33	128.98	0.95	1.15	0.67	0.02183316
<b>NB-06</b>	50%CC	4	72.33	131.60	0.70	1.44	0.78	0.00542769
<b>NB-05</b>	25%CC	1	48.67	111.90	0.87	0.95	0.27	0.03059106
<b>NB-05</b>	50%CC	1	84.00	144.38	0.76	1.08	1.04	0.00789488
<b>NB-05</b>	75%CC	1	92.33	177.90	0.56	1.29	0.44	0.00175426
<b>NB-05</b>	25%CC	2	72.67	130.75	1.32	1.04	0.40	0.01091396
<b>NB-05</b>	50%CC	2	81.67	134.00	0.80	0.84	0.84	0.00737962
<b>NB-05</b>	75%CC	2	94.67	155.90	0.65	1.34	0.44	0.00532192
<b>NB-05</b>	25%CC	3	59.33	142.80	0.77	0.92	0.17	0.02349607
<b>NB-05</b>	75%CC	3	94.67	159.90	0.65	1.48	0.32	0.00197769
<b>NB-05</b>	25%CC	4	48.33	106.35	0.73	0.71	0.25	0.02725009
<b>NB-05</b>	50%CC	3	80.33	131.95	0.67	1.08	0.44	0.00570071
<b>NB-05</b>	50%CC	4	82.67	129.50	0.77	1.15	0.62	0.00651788
<b>NB-05</b>	75%CC	4	104.33	168.58	0.57	1.27	1.14	0.00560458
<b>NB-04</b>	75%CC	1	92.00	203.40	0.86	1.45	1.38	0.00285673
<b>NB-04</b>	25%CC	1	41.67	164.40	0.93	1.44	0.61	0.01471475
<b>NB-04</b>	50%CC	1	81.67	160.20	0.50	1.48	1.14	0.00570109
<b>NB-04</b>	25%CC	2	60.67	147.45	0.72	1.40	0.55	0.0241361
<b>NB-04</b>	75%CC	2	90.33	226.00	0.94	1.56	0.94	0.00338739
<b>NB-04</b>	50%CC	2	77.67	176.20	0.96	1.41	1.20	0.00801632
<b>NB-04</b>	25%CC	3	42.33	159.60	0.74	1.66	0.36	0.01701392
<b>NB-04</b>	75%CC	3	75.33	189.40	0.91	1.58	0.49	0.00288174
<b>NB-04</b>	50%CC	3	70.67	112.40	0.65	1.57	0.47	0.00570942
<b>NB-04</b>	25%CC	4	46.33	159.08	0.63	1.40	0.68	0.01903758
<b>NB-04</b>	50%CC	4	58.33	149.70	0.94	1.71	0.59	0.00699101
<b>NB-04</b>	75%CC	4	79.00	224.60	0.74	1.82	0.44	0.00446878
<b>NB-01</b>	75%CC	1	89.67	185.85	0.57	1.66	0.80	0.0049104
<b>NB-01</b>	75%CC	2	88.00	155.70	0.77	1.73	0.58	0.00251669
<b>NB-01</b>	25%CC	1	51.00	184.60	1.05	1.47	0.27	0.02709415
<b>NB-01</b>	75%CC	3	87.00	193.05	0.52	1.85	1.07	0.00280596
<b>NB-01</b>	50%CC	1	75.67	252.00	0.49	1.40	2.52	0.00792688
<b>NB-01</b>	75%CC	4	88.67	205.95	0.66	1.54	1.08	0.00255856
<b>NB-01</b>	25%CC	2	47.67	162.75	0.58	1.51	1.32	0.02511548

<b>NB-01</b>	50%CC	2	65.67	172.05	0.53	1.46	0.66	0.00501895
<b>NB-01</b>	25%CC	3	48.00	138.38	0.70	1.63	1.32	0.03345318
<b>NB-01</b>	25%CC	4	61.67	128.63	0.53	1.49	1.44	0.01641724
<b>NB-01</b>	50%CC	3	71.67	174.05	0.64	1.66	0.28	0.00427998
<b>NB-01</b>	50%CC	4	65.67	153.13	0.48	1.27	0.72	0.00561768
<b>NB-02</b>	25%CC	1	39.00	150.78	1.26	1.44	0.17	0.02012493
<b>NB-02</b>	50%CC	1	77.33	140.15	0.71	1.56	1.45	0.00736166
<b>NB-02</b>	75%CC	1	85.67	166.58	0.60	1.58	0.48	0.00239092
<b>NB-02</b>	50%CC	2	67.00	168.45	0.73	1.75	0.38	0.00559418
<b>NB-02</b>	75%CC	2	73.00	185.20	0.74	1.67	0.91	0.00362856
<b>NB-02</b>	50%CC	3	65.00	144.58	0.40	1.74	0.68	0.00713306
<b>NB-02</b>	75%CC	3	68.00	166.00	0.58	1.76	0.28	0.00173649
<b>NB-02</b>	25%CC	2	43.00	118.30	0.74	1.55	0.50	0.03374948
<b>NB-02</b>	25%CC	3	42.67	158.90	1.08	1.47	0.41	0.02877842
<b>NB-02</b>	25%CC	4	42.67	147.30	0.73	1.90	0.30	0.01299682
<b>NB-02</b>	75%CC	4	81.67	175.30	0.79	1.68	0.17	0.00212929
<b>NB-02</b>	50%CC	4	79.67	163.40	0.60	1.45	2.69	0.01072201

### ANEXO 3. ANVA de los indicadores de estrés a 75 por ciento de nivel de riego.

#### a. Altura

	Grado libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Pr(>F)	Significancia
<b>GENOTIPOS</b>	18	4629.8	257.21	5.9885	9.649e-08	***
<b>Error</b>	57	2448.2	42.95			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### b. Área foliar

	Grado libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Pr(>F)	Significancia
<b>GENOTIPOS</b>	18	109837	6102.1	8.4082	2.671e-10	***
<b>Error</b>	57	41367	725.7			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### c. Relacion verde / senescente

	Grado libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Pr(>F)	Significancia
<b>GENOTIPOS</b>	18	7.9511	0.44173	10.563	3.186e-12	***
<b>Error</b>	57	2.3836	0.04182			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### d. Relacion raiz / planta

	Grado libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Pr(>F)	Significancia
<b>GENOTIPOS</b>	18	1.14190	0.063439	5.1034	1.129e-06	***
<b>Error</b>	57	0.70855	0.012431			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### e. STI

	Grado libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Pr(>F)	Significancia
<b>GENOTIPOS</b>	18	6.1608	0.34227	5.6117	2.689e-07	***
<b>Error</b>	57	3.4765	0.06099			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**f. EUAp**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	1.6263e-05	9.0349e-07	0.789	0.7039	ns
<b>Error</b>	57	6.5374e-5	1.1451e-06			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANVA de los indicadores de estrés a 50 por ciento de nivel de riego.

**a. Altura**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	2671.2	148.398	3.5029	0.000156	***
<b>Error</b>	57	2414.8	42.365			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**b. Área foliar**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	91045	5058.1	9.1063	5.912e-11	***
<b>Error</b>	57	31660	555.4			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**c. Relacion verde / senescente**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	7.9888	0.44382	10.669	2.605e-12	***
<b>Error</b>	57	2.3712	0.04160			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**d. Relacion raiz / planta**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	0.84615	0.047008	1.2981	0.2241	ns
<b>Error</b>	57	2.06415	0.036213			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**e. STI**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	2.6933	0.149629	3.2552	0.0003531	***
<b>Error</b>	57	2.6200	0.045965			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**f. EUAp**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	4.2914e-05	2.3841e-06	0.9801	0.4942	ns
<b>Error</b>	57	1.3865e-04	2.4324e-06			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANVA de los indicadores de estrés a 25 por ciento de nivel de riego.

**a. Altura**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	2021.8	112.324	1.4378	0.1498	ns
<b>Error</b>	57	4453.1	78.124			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**b. Área foliar**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	76442	4246.8	6.5324	2.323e-08	***
<b>Error</b>	57	37057	650.1			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**c. Relacion verde / senescente**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	7.5422	0.41901	4.9894	1.57e-06	***
<b>Error</b>	57	4.7868	0.08398			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**d. Relacion raiz / planta**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	2.4921	0.138452	1.9995	0.02481	*
<b>Error</b>	57	3.9469	0.069243			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**e. STI**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	0.85532	0.047518	2.1651	0.01419	*
<b>Error</b>	57	1.25097	0.021947			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**f. EUAp**

	<b>Grado libertad</b>	<b>Suma cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Significancia</b>
<b>GENOTIPOS</b>	18	0.002333	1.2961e-04	1.5026	0.1233	ns
<b>Error</b>	57	0.004917	8.6259e-05			

Sig. 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**ANEXO 4. Cuadro resumen del análisis cluster para los 3 niveles de riego.****a. Formación de 2 clusters a 75 % CC de nivel de riego.**

<b>GENOTIPO</b>	<b>ALTURA</b>	<b>RAIZ_PLANTA</b>	<b>VERDE_SENES</b>	<b>STI</b>	<b>EUAp</b>	<b>CLUSTER</b>
AC-01	94	0.42	0.86	1.08	0.0032	1
INIA-03	91	0.48	1.22	1.11	0.0034	1
INIA-04	107	0.61	1.4	1.51	0.0035	1
INIA-05	106	0.43	1.45	0.82	0.0031	1
INIA-06	92	0.55	2.27	1.57	0.0031	1
NB-05	97	0.61	1.35	0.73	0.0037	1
NN-01	84	0.46	1.33	0.95	0.0041	1
NN-02	87	0.58	1.28	1.11	0.0032	1
NN-03	97	0.49	1.37	1.28	0.0034	1
NN-04	97	0.54	1.35	1.2	0.0029	1
NN-05	86	0.28	1.43	1.2	0.0034	1
NN-06	94	0.66	0.9	1.5	0.0037	1
INIA-01	98	0.68	1.91	0.7	0.0024	2
INIA-02	88	0.57	1.41	0.79	0.0028	2
NB-01	88	0.63	1.7	0.93	0.0032	2
NB-02	77	0.68	1.67	0.64	0.0025	2
NB-03	82	0.66	1.07	0.65	0.0024	2
NB-04	84	0.86	1.6	0.87	0.0034	2
NB-06	82	0.57	1.16	0.86	0.0023	2

**b. Formación de 2 clusters a 50 % CC de nivel de riego.**

<b>GENOTIPO</b>	<b>ALTURA</b>	<b>RAIZ_PLANTA</b>	<b>VERDE_SENES</b>	<b>STI</b>	<b>EUAp</b>	<b>CLUSTER</b>
AC-01	77	1.01	0.65	0.84	0.0076	1
INIA-04	83	0.82	1.04	1.18	0.0073	1
INIA-06	76	0.68	2.23	1.2	0.008	1
NN-02	76	0.61	1.11	1.3	0.0083	1
NN-03	84	0.8	1.2	1.11	0.008	1
NN-04	82	0.78	1.26	1.01	0.0074	1
NN-06	76	0.76	0.9	1.09	0.0071	1
INIA-01	91	0.8	1.33	0.7	0.0069	2
INIA-02	80	0.64	1.39	0.74	0.0072	2
INIA-03	71	0.64	1.46	0.91	0.0062	2
INIA-05	86	0.58	1.3	0.69	0.0074	2
NB-01	70	0.54	1.45	0.85	0.0057	2
NB-02	72	0.61	1.63	0.82	0.0077	2
NB-03	75	0.68	0.92	0.71	0.006	2
NB-04	72	0.76	1.54	0.82	0.0066	2
NB-05	82	0.75	1.04	0.74	0.0069	2
NB-06	77	0.71	1.21	0.74	0.0057	2
NN-01	67	0.67	1.17	0.73	0.0067	2
NN-05	75	0.75	1.3	0.83	0.0077	2

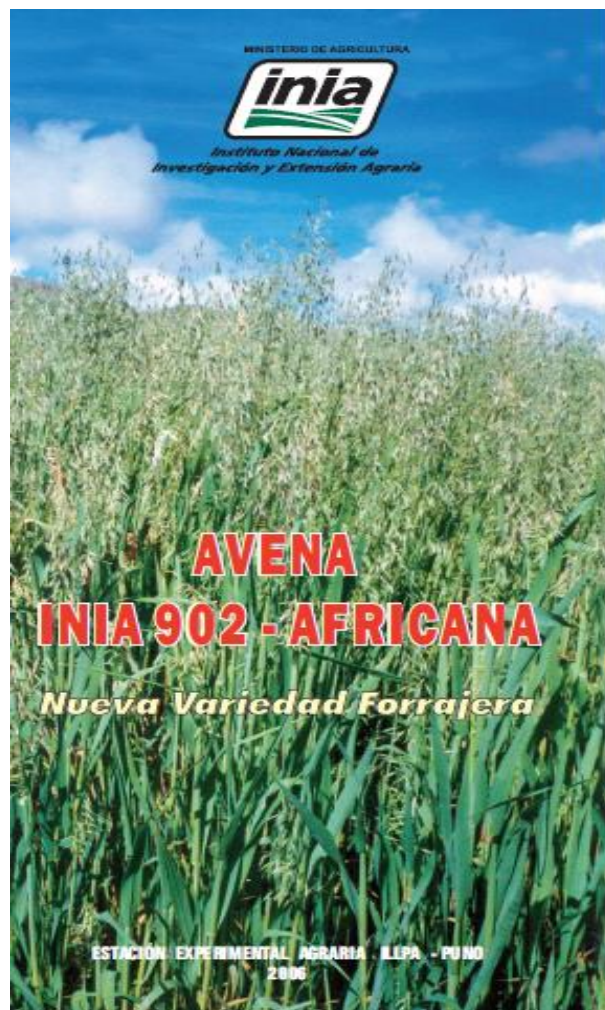


**c. Formación de 2 clusters a 25 % CC de nivel de riego.**

<b>GENOTIPO</b>	<b>ALTURA</b>	<b>RAIZ_PLANTA</b>	<b>VERDE_SENES</b>	<b>STI</b>	<b>EUAp</b>	<b>CLUSTER</b>
AC-01	49	0.85	0.6	0.63	0.0219	1
INIA-02	52	1.05	1.5	0.48	0.0217	1
INIA-03	48	0.89	1.24	0.52	0.0165	1
INIA-05	65	0.79	1.08	0.56	0.0236	1
NB-02	42	0.95	1.59	0.42	0.0239	1
NB-04	48	0.76	1.48	0.55	0.0187	1
NB-05	57	0.92	0.91	0.41	0.0231	1
NB-06	50	0.8	1.08	0.56	0.0184	1
NN-02	45	0.93	0.89	0.63	0.0263	1
NN-05	55	0.86	1.19	0.58	0.0191	1
INIA-01	60	1.1	1.36	0.57	0.0352	2
INIA-04	54	1.11	1.22	0.82	0.0224	2
NB-03	49	1.22	0.82	0.45	0.0286	2
NN-01	51	0.87	1.08	0.59	0.0341	2
NN-03	50	1.35	1.03	0.67	0.0289	2
NN-04	58	1.14	1.04	0.7	0.0277	2
NN-06	52	1.29	0.98	0.71	0.0364	2
INIA-06	54	0.81	1.98	0.72	0.0228	3
NB-01	52	0.72	1.53	0.68	0.0255	3

## ANEXO 5. Fichas técnicas de las variedades comerciales de avena forrajera.

### a. Avena INIA 902 – AFRICANA



## AVENA INIA 902 - AFRICANA

### INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.), es una especie forrajera rústica, se adapta a diversos tipos de suelos, pero es exigente en agua por su mayor transpiración, superior al cultivo de cebada, por ello se adapta mejor a climas frescos y húmedos de las zonas alto andinas; es muy sensible a la sequía, especialmente en el estado fenológico de formación del grano. Sin embargo; esta nueva variedad posee características de alta proporción de hojas de buen tamaño que otras variedades conocidas no la tienen; por estas bondades existe una gran expectativa por parte de los ganaderos de la región sur del Perú.

El Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria, a través de la Estación Experimental Agraria Illpa - Puno, ha generado esta nueva variedad de avena, INIA 902 - Africana con la finalidad de poner a disposición del productor ganadero un cultivar de alta producción en biomasa y de valor nutritivo para la alimentación del ganado de las zonas alto andinas del Perú.



### ORIGEN

En el año de 1992, el Dr. Arturo Florez entrega a la Estación Experimental Illpa, 100 gramos de semilla genética de avena proveniente de África y a partir de la campaña agrícola 1994 - 1995 se inicia los trabajos de adaptación y multiplicación del material genético nuevo en la localidad de Potojani.

### ADAPTACIÓN

Esta variedad se adapta a las condiciones ecológicas del altiplano con altitudes que varían de 3,812 a 4,000 msnm, precipitación pluvial de 600 a 700 mm/año; temperatura promedio máxima de 14,4°C y temperatura mínima de 1 a 2°C.

### DESCRIPCIÓN DEL CULTIVAR

#### Características agronómicas

Altura de planta a la floración	: 170,5 a 176,5 cm
Número de macollos	: 23
Color de la hoja	: verde intenso
Días a la floración	: 170 días
Densidad de la panícula	: laxa
Número de espiguillas por panícula	: 27
Forma de la hoja	: planas y alargadas
Longitud de lámina foliar	: 57,43 cm
Ancho de lámina foliar	: 1,68 a 2,10 cm
Ligula	: forma oval
Forma de la raíz	: fasciculada y profunda
Longitud de la raíz	: 20,15 cm
Diámetro de la raíz	: 2,81 cm
Color de la semilla	: Crema claro
Forma de la semilla	: Alargado
Vitriosidad de la semilla	: No vitreo
Periodo vegetativo para grano	: 210 días
Periodo vegetativo para forraje	: 150 días
Rendimiento potencial de forraje verde	: 85.172 kg/ha
Rendimiento en campo de ganaderos	: 39.164 a 52.500 kg/ha
Proteína cruda	: 8,68%
Acame a la madurez	: Bajo



## MANEJO DEL CULTIVO

### Elección del terreno

Es recomendable sembrar la avena INIA 902-Africana en rotación con papa, quínuva o cañihua.

### Preparación del terreno

Requiere roturación y dos pasadas de rastra que permitan una buena preparación del suelo.

### Siembra

La siembra debe realizarse en noviembre hasta la primera semana de diciembre para producción de forraje y en los meses de setiembre-octubre para la producción de semilla.

### Cantidad de semilla

Para producción de forraje : 120 a 130 kg/ha  
Para producción de semilla : 100 kg/ha

### Fertilización

Dependiendo del análisis de suelo se recomienda aplicar 60-50-00 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O.

La mitad del nitrógeno y todo el fósforo se aplica a la siembra y la otra mitad del nitrógeno al macollamiento.



### Control de malezas

Se realiza según la incidencia de malezas y éstas compiten en los estados juveniles del cultivo. Es recomendable un deshierbo manual cuando la planta alcanza 30 a 40 cm de altura.

### Cosecha

La cosecha se realiza para conservar como ensilado, heno o para producción de semilla. Para ensilado el corte se realiza desde la plena floración hasta grano lechoso. Para el henificado cosechar al estado de grano lechoso y para producción de semilla después de 210 días, recomendando completar la madurez y el secado en parvas; la trilla puede ser mecanizada o manual.

## INDICADORES PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS

Parámetro	INIA 902 Africana	Variedad Local
Rendimiento FV (kg/ha)	30.369,30	23.530,40
Ingreso neto (S.)	1.652,60	984,70
Rentabilidad (%)	141,10	98,50



## RECONOCIMIENTO

La avena INIA 902 - Africana fue generada por el equipo de investigadores del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la EEA Illpa, Ingenieros: Gregorio Argote Quispe, Silvestre Ramos Aquino, Marcial Halanoca Pineda, Pedro Cabrera Aquise, Francis Miranda Choque, Juan Limache Choque, Saturnino Marca Vilca, Luis Abarca Bejarano, Rodolfo Cahuana Quispe, Téc. Juan Panca Mamani (+). EEA Baños del Inca Ing. William Carrasco. EEA Vista Florida Ing. Gladis Gastelo Benavides y de manera especial nuestro reconocimiento al Dr. Arturo Florez Martinez por confiarnos el material genético.


DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
SUB DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CRIANZAS  
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y FORRAJES  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
UNIDAD DE EXTENSIÓN AGRARIA ILLPA - PUNO

Rinconada a Saiccedo s/n - Puno Telefaxis 051-363812, Telef. 365591 - 922760  
E-mail illpa@inia.gob.pe, illpaavt@inia.gob.pe




Av. La Molina N° 1981, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
Telefax: 349-5631 / 349-2600 anexo 248  
http://www.inia.gob.pe E-mail: public@inia.gob.pe


## b. Avena INIA 901 – MANTARO 15



**MINISTERIO DE AGRICULTURA**  
**inia**  
Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria



# AVENA INIA 901 MANTARO 15M




**ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - HUANCAYO**  
**2006**

### AVENA FORRAJERA INIA 901 - MANTARO 15M

#### INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.) es una gramínea anual muy versátil en su adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y de manejo. Esta nueva variedad posee características de altos rendimientos de forraje verde comparado a los cultivares tradicionales sembrados en el Valle del Mantaro, así como en zonas aledañas de la región. Es un cultivar tolerante a las principales enfermedades prevalentes para esta especie en la sierra central. También destaca por su alta producción de semilla. Estas características le dan ventajas comparativas cuya comprobación a nivel de productores ha generado una gran expectativa por parte de los ganaderos de la sierra central del Perú. El Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria - INIEA, a través de su Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la Estación Experimental Agraria Santa Ana-Huancayo, pone a disposición de los ganaderos, principalmente de los pequeños y medianos productores, esta nueva variedad de avena INIA 901- Mantaro 15M, que posee un alto rendimiento en biomasa y un buen contenido nutricional, características que permitirán mejorar la alimentación del ganado de las zonas altoandinas de la sierra central.



#### ORIGEN

El germoplasma base se obtuvo de colecciones de la avena Mantaro, sembrada en la región de la sierra central. A partir de ese material, el Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes inició un Programa de Selección Recurrente Fenotípica en base al método de panoja-hilera, durante 10 ciclos de selección, en la Estación Experimental Agraria Santa Ana-Huancayo.

#### ADAPTACIÓN

Esta variedad se adapta a las condiciones agroclimáticas de la sierra central a altitudes que varían de 3.200 hasta los 4.200 msnm cuando se cultiva para la producción de forraje verde y desde 3.200 a 3.300 msnm cuando se cultiva para la producción de semilla.

#### DESCRIPCIÓN DEL CULTIVAR

##### Características agronómicas

Tipo de semilla	: Botánica
Porcentaje de germinación	: 95 - 97%
Color de grano	: Crema
Tamaño del grano	: 14 mm de largo
Peso de 1.000 semillas	: 34,2 - 36,8 g
Peso hectolitrico	: 47 - 55 kg per .HL
Número de hojas/tallo	: 4 - 5 hojas
Ancho de la hoja	: 2,63 cm
Longitud de la hoja	: 38 cm
Porte de la planta	: Erecto
Color del tallo	: Verde
Altura de planta	: 1,20 - 1,56 m
N° de tallos promedio/planta	: 10
Longitud de inflorescencia	: 24 cm
Número de granos por panoja	: 141
Polinización	: Autógama (96 %)
Periodo vegetativo para forraje verde	: 150 días
Periodo vegetativo para semilla	: 210 días
Rendimiento potencial de forraje verde	: 60.000 kg/ha
Rendimiento a nivel de productores	: 40.000 kg/ha
Rendimiento potencial de semilla	: 2.500 kg/ha
Proteína cruda del forraje	: 7,57 a 10,15 %
Acame a la madurez	: Bajo



## MANEJO DEL CULTIVO

### Elección del terreno

Se requiere de suelos profundos, franco arcillosos y franco arenosos.

### Preparación del terreno

Efectuar dos araduras cruzadas y 1 ó 2 pasadas de rastras con el fin de mullir el terreno.

### Cantidad de semilla

Para producción de semilla : 60 kg/ha  
Para producción de forraje verde : 70- 80 kg/ha

### Fertilización

Se recomienda aplicar 60-100-60 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O dependiendo del análisis del suelo. El total de fósforo y potasio se aplica a la siembra. La aplicación de nitrógeno se divide en 40% a la emergencia, 50% al macollamiento y 10 % al desmanche.

### Labores culturales

A los 30 - 40 días después de la siembra, aplicar herbicidas sistémicos selectivos para el control de malezas de hoja ancha como el yuyo y la mostaza.

En caso de los semilleros, hacer limpieza a los 60-90 días con deshierbo manual de malezas como la avena silvestre.

Durante la época de lluvia, es recomendable abrir zanjas alrededor del terreno para evitar el encharcamiento que produce el amarillamiento de las plantas y ocasiona también el acame o tumbado de ellas.



## Cosecha

La cosecha se efectúa para uso directo, para ser conservado como silaje y para la producción de semilla.

Para ensilaje, el corte se efectúa desde la plena floración hasta el grano lechoso (150 días).

Para la producción de semilla la cosecha se realiza después de 210 días.

## INDICADORES PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS

Parámetro	INIA 901 Mantaro 15M	Variedad Local
Rendimiento FV (kg/ha)	60.000	33.000
Ingreso neto (S/.)	4.296,90	1.798,00
Rentabilidad (%)	352,3	219,7

Parámetro	INIA 901 Mantaro 15M	Variedad Local
Rendimiento de semilla (kg/ha)	2.455	1.247
Ingreso neto (S/.)	2.048	251
Rentabilidad (%)	122	22



## RECONOCIMIENTO

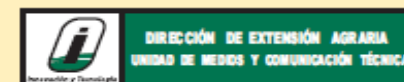
La avena INIA 901 - Mantaro 15M fue desarrollada por el equipo de investigadores del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la EEA Santa Ana - Huancayo.

Un reconocimiento especial a los productores del Valle del Mantaro, de la Meseta del Bombón - Junín, de Pasco, de la Unión - Dos de Mayo (Huanuco) y de Huancavelica.



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CRIANZAS  
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y FORRAJES  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA SANTAANA - HUANCAYO  
UNIDAD DE EXTENSIÓN AGRARIA SANTAANA - HUANCAYO

Fundo Santa Ana s/n - Hualahoyo km 8 El Tambo - Huancayo  
Teléfax 064-248206, Télex 064-247011  
E-mail sanaut@inia.gob.pe, sataana@inia.gob.pe




Av. La Molina N° 1981, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
Teléfax: 349-5631 / 349-2600 anexo 248  
http://www.inia.gob.pe E-mail: public@inia.gob.pe

Página 11 de 108

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-11-001

### c. Avena INIA 903 – TAYCO

MINISTERIO DE AGRICULTURA



*Instituto Nacional de Investigación Agraria*

## AVENA FORRAJERA INIA 903 - TAYKO ANDENES



ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ANDENES - CUSCO

2007

## AVENA FORRAJERA INIA 903 - TAYKO ANDENES

### INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.), entre los cereales, es la especie más utilizada como forrajera. Necesita periodos de frío para su crecimiento y desarrollo. Como cultivo de forraje y grano, tiene importancia económica en la región Cusco y en general, en toda la zona alto andina.

Es altamente apreciada por los productores que trabajan en la ganadería, por ser más productiva, de alto valor nutritivo, de excelente palatabilidad y por su facilidad para ser conservada, como heno o silaje, lo que constituye una buena alternativa para la época de estiaje o seca (otoño-invierno).

Los rendimientos promedio de forraje y grano de la avena forrajera cultivada en la región son variados y muy pobres, debido principalmente a que la semilla del productor no posee pureza varietal, su potencial de rendimiento es bajo y es susceptible a enfermedades.

Como respuesta a estas limitaciones y considerando el potencial productivo y la calidad alimenticia de la avena forrajera para la región, cuyo cultivo se viene incrementando en las regiones de Cusco y Puno con resultados prometedores, el Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA, a través del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes viene impulsando el cultivo de esta especie y pone a disposición de los productores pecuarios la variedad de avena INIA 903 -Tayko Andenes.

### ORIGEN

El nuevo cultivar de avena forrajera INIA 903 -Tayko Andenes tiene su origen en la colección efectuada en el año 1985 en la localidad de Huancarani (Paucartambo -Cusco).

El mejoramiento genético fue realizado a través del Método Panoja - Surco.

### ADAPTACIÓN

Su rango de adaptación va desde los 2900 a 3900 msnm.



Núcleo de multiplicación de semilla genética de INIA 903-Avena Tayko Andenes

### DESCRIPCIÓN DEL CULTIVAR

#### Características morfológicas

Nº de macollos por planta	:	10 - 14
Altura de planta	:	160 cm
Color del grano	:	Marrón a negro
Días hasta el panojado	:	105
Días hasta la madurez del grano	:	185
Relación hoja/tallo	:	1.24
Índice de cosecha de forraje	:	83 %
Acame	:	5 - 10 %
Peso de 1000 granos	:	32 - 34 g
Rendimiento de materia verde	:	52,86 t/ha
Rendimiento de materia seca	:	10,68 t/ha
Rendimiento potencial de semilla	:	2,64 t/ha
Rendimiento de heno	:	10,87 t/ha
Rendimiento de silaje	:	47,52 t/ha



### Reacción a enfermedades

Roya de la hoja (*Puccinia coronata*): Moderada resistencia

Roya del tallo (*Puccinia graminis f. sp. avenae*) : Moderada resistencia

Carbón volador (*Ustilago avenae*) : Tolerante

Su incidencia es mayor en los valles andinos (2500 a 2800 msnm).

## MANEJO DEL CULTIVO

### Época de siembra

De acuerdo a la zona:

- Para forraje de noviembre a diciembre
- Para grano de octubre a noviembre

### Densidad de siembra

Para producción de forraje, en siembra manual: 120 kg/ha, y con sembradora: 100 kg de semilla de buena calidad.

Para producción de semilla, se recomienda de 60 a 80 kg de semilla/ha, dependiendo del sistema de siembra.

### Fertilización

Previo análisis de suelo se recomienda aplicar, para forraje y grano, 80-60 de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Para forraje, aplicar a la siembra el 25% de la fuente nitrogenada y el total del fósforo y lo restante del nitrógeno en el macollamiento.

Para grano, aplicar a la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, la otra parte del nitrógeno al inicio del macollaje.

### Control de malezas

Entre los 30 y 40 días después de la siembra, aplicar un herbicida para malezas de hoja ancha en la dosis comercial.

### Cosecha y conservación del forraje

El forraje verde sirve de alimento al ganado en forma directa o procesada (heno o silaje).

Para ensilar se recomienda cosechar desde la plena floración hasta la formación del grano lechoso y para henificar cosechar al estado de grano lechoso.

#### Composición química del forraje de INIA 903 - Tayko Andenes en distintos estados de desarrollo

Estado de desarrollo	Materia seca %	Proteína %	Fibra %	Grasa %	Ceniza %	Extracto no nitrogenado %
Grano estado de lecho	19,50	11,95	30,10	2,65	9,20	39,34
Ensilaje	27,00	10,35	36,55	3,01	8,45	36,51
1ª. Semana	10,53	21,40	23,80	3,57	12,05	32,48
3ª. Semana	11,61	17,60	27,10	2,88	12,31	33,52
4ª. Semana	13,23	14,25	31,57	3,15	9,77	35,22
5ª. Semana	15,05	12,70	32,16	3,10	9,02	35,46
6ª. Semana	16,92	12,12	32,36	2,41	8,60	38,90
7ª. Semana	18,20	11,10	32,65	2,16	8,60	38,99
8ª. Semana	21,00	10,02	33,25	2,57	8,46	40,26

\* Semanas transcurridas desde la iniciación de la floración.  
Fuente: LABQUIM 2003



Producción de forraje verde de la avena INIA 903 - Tayko Andenes para su conservación en heno

### Cosecha de grano

Se debe cosechar después de que alcance su madurez fisiológica, cuando la planta está seca y el grano duro.

### Rendimiento

Con buena tecnología del cultivo: semilla de calidad, época de siembra oportuna, empleo de fertilizantes y control de malezas, la avena INIA 903-Tayko Andenes produce 2,64 t/ha de semilla, siendo el promedio comercial 2,12 t/ha.

En la región Cusco, reflejan rendimientos muy variables debido a que se cultivan en diferentes tipos de suelo.

#### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Rendimiento de semilla	: 2,64 t/ha
Costo de producción	: S/. 1.877,00
Ingreso total	: S/. 3.418,00
Ingreso neto	: S/. 1.541,00
Rentabilidad	: 82,13 %

El semillero gana 82 céntimos por cada nuevo sol invertido.

### RECONOCIMIENTO

La variedad AVENA FORRAJERA INIA 903-TAYKO ANDENES es el resultado de los trabajos de investigación realizados por el equipo de científicos y técnicos del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco del Instituto Nacional de Investigación Agraria.

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CRIANZAS  
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y FORRAJES  
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ANDENES -CUSCO  
Av. Micaela Bastidas 310 - 314 Wanchaq  
Telefax: 084-232871 Teléfono: 084-240800  
Email: andenes@inia.gob.pe



Av. La Molina N° 1981, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
Telefax: 340-9631 / 349-2800 Anexo 248  
http://www.inia.gob.pe E-mail: publico@inia.gob.pe

## d. Avena INIA 905 – CAJAMARQUILLA



### AVENA FORRAJERA INIA 905 – LA CAJAMARQUINA

#### INTRODUCCIÓN

El nuevo cultivar avena forrajera INIA 905 - La Cajamarquina, es un logro obtenido por el Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA en el Perú, a través del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca con la participación y colaboración de agricultores de la sierra norte del Perú.

Este nuevo cultivar durante su evaluación, mostró rendimientos superiores de forraje verde, materia seca y producción de semilla comparado a cultivares locales y otras variedades mejoradas de avena que se cultivan en la sierra del Perú; adicionalmente esta variedad posee resistencia a la roya de la hoja, tolerancia a la roya del tallo, soporta bajas temperaturas, tolera suelos ácidos y a escasez de agua; ventajas que le otorga amplias posibilidades de adopción por los productores para afrontar la escasez de pastos y forrajes en la alimentación de la ganadería altoandina del Perú.

De esta manera, el INIA propone una alternativa tecnológica en beneficio de la familia rural, pues la avena INIA 905 - La Cajamarquina es un cultivar con potencial de adaptación a las condiciones socioeconómicas de pequeños productores de la sierra; se puede sembrar en unicultivo o asociado con una leguminosa forrajera anual como la *Vicia sativa*, de este modo los productores pueden disponer de forraje verde en cantidad y calidad para consumo directo o para su conservación como heno y silaje y su posterior aprovechamiento en etapas críticas de escasez de pastos.

#### ORIGEN

Los trabajos de investigación se iniciaron en los años 1992 - 1994 con la colección de germoplasma de *Avena strigosa* sembrada en la sierra norte del Perú; a partir de este material en el año 1995 se realizaron las pruebas de mejoramiento genético mediante la técnica de selección panoja - surco, durante 10 ciclos de selección en la Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca.

#### ADAPTACIÓN

La avena forrajera INIA 905 - La Cajamarquina se adapta a la zona agroecológica de la sierra tropical del norte del Perú; se produce en climas templados y fríos a altitudes que van de los 2.500 a 3.840 msnm; con temperatura media de 12°C y una precipitación de 550 a 700 mm por campaña agrícola.

#### DESCRIPCIÓN DEL CULTVAR

##### Características vegetativas

Altura de planta	: 166 a 184 cm
Nº de macollos (promedio)	: 8,7
Días hasta el panojado	: 90
Días hasta grano lechoso	: 109
Días hasta la madurez del grano	: 206
Relación hoja / tallo	: 38 / 62
Índice de cosecha de forraje	: 90%

##### Hoja

Nº hojas / tallo	: 5 - 8
Forma	: Larga lanceolada
Color	: Verde oscuro

##### Inflorescencia

Flor	: Tipo panoja con espiguillas
Tipo de inflorescencia	: Panicula laxa
Nº de flores / panoja	: 62 - 74
Tamaño	: 29,6 - 36,4 cm

##### Fruto

Cariópside cosechado y utilizado como semilla (flósculo)

##### Semilla

Color de la semilla	: Negro
Forma de la semilla	: Alargada
Nº de granos por panoja	: 56 - 88
Rendimiento en materia verde	: 51,71 t/ha
Rendimiento en materia seca	: 14 t/ha
Rendimiento en semilla	: 1,07 t/ha
Proteína cruda en grano lechoso	: 12,4 %
Rendimiento de heno	: 16,42 t/ha
Rendimiento de silaje	: 46,54 t/h

##### Comportamiento frente a factores bióticos y abióticos

Roya de la hoja ( <i>Puccinia coronata</i> )	: Resistente
Roya del tallo ( <i>Puccinia graminis</i> )	: Tolerante
Heladas y sequía	: Tolerante





Informante tipo panico en la fase de madurez fisiológica

En asociación con Vicia sativa (leguminosa anual), mejora la calidad nutricional de la mezcla forrajera alcanzando 18% de proteína

## MANEJO DEL CULTIVO

### Elección del terreno

Suelos poco fértiles y al secano, por ser un cultivo anual.

### Preparación del terreno

Requiere de suelos medianamente preparados, mediante yunta, manualmente y/o con maquinaria.

### Densidad de siembra

Sistema al voleo en unicultivo : 60 kg/ha  
 Sistema en líneas en unicultivo : 35 kg/ha  
 Sistema en asociación con : 50 kg de avena  
 Vicia sativa +  
 30 kg de Vicia sativa

### Fertilización

Responde muy bien a fertilización orgánica y también a fertilización química.

## Labores culturales

Para la producción de semilla se realiza el control de malezas mediante herbicidas para hoja ancha y cuando el semillero se encuentra en estado de grano lechoso se realiza la purificación del mismo (consiste en eliminar las plantas que no corresponde a la variedad).

## Oportunidades de cosecha

- Para uso como forraje verde:  
Al estado grano lechoso (105 a 120 días posterior a la siembra).
- Para elaboración de heno:  
En plena floración de 90 a 105 días.
- Para elaboración de silaje:  
Al estado grano lechoso a pastoso de 105 a 120 días.
- Para semilla:  
A la madurez fisiológica de 180 a 210 días.



Madurez fisiológica de la nueva variedad de Avena INIA 905 - La Cajamarquina

## INDICADORES PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS

Indicador	INIA 905 La Cajamarquina	Variedad Local
Rendimiento de forraje verde	51.713,75 kg/ha	37.972,50 kg/ha
Ingreso neto	S/. 1.430,03	S/. 795,47
Rentabilidad	126,61 %	74,04 %

Indicador	INIA 905 La Cajamarquina	Variedad Local
Rendimiento de semilla	1.070,00 kg/ha	740,63 kg/ha
Ingreso neto	S/. 683,91	S/. 108,95
Rentabilidad	49,65 %	11,03 %

Fuente: Expediente técnico de la variedad INIA 905 - La Cajamarquina

## RECONOCIMIENTO


La **avena INIA 905 - La Cajamarquina** fue desarrollada por el equipo de investigadores y técnicos del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca.

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
 SUB DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CRIANZAS  
 PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y FORRAJES  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA  
 Jr. Wacocha S/N Distrito Baños del Inca - Cajamarca.  
 Telefax : 076 - 348286 Teléfono: 076 - 348667 RPM\* 284561  
 Oficina PNI en Pastos y Forrajes  
 E-mail: bina@inia.gob.pe Web: www.inia.gob.pe




Av. La Molina N° 1981, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
 Telefax: 349-5631 / 349-2600 anexo 248  
 http://www.inia.gob.pe E-mail: public@inia.gob.pe

## e. Avena INIA 904 – VICANOTA I



**AVENA FORRAJERA  
INIA 904 – VILCANOTA I**



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ANDENES - CUSCO  
2007**

### AVENA FORRAJERA INIA 904 - VILCANOTA I

#### INTRODUCCIÓN

La *Avena sativa* L., es la especie más utilizada como forraje de invierno en la zona andina, siendo sustento del ganado vacuno, ovino, equino y camélidos de las provincias de la región Cusco con vocación ganadera.

Debido a su alta digestibilidad, palatabilidad y por la menor tendencia a producir trastornos metabólicos es apreciado por los productores que dependen de la ganadería. Así mismo, por su facilidad para ser conservado como heno o silaje, la avena constituye una buena alternativa para la época de estiaje (otoño - invierno), donde la escasez de forraje se manifiesta porque las pasturas cultivadas y praderas nativas en esta época bajan considerablemente su producción.

Los cultivares locales de avena forrajera, se han mantenido y producido a través del tiempo, pero con deterioro en su pureza varietal, son de bajo rendimiento y susceptibles a enfermedades.

La tendencia de la producción de avena forrajera en los últimos años, ha sido creciente debido al aumento de áreas sembradas en la región Cusco. De 741 ha sembradas en el año 1999 ha pasado a 2628 ha en el año 2006; lo cual presenta un incremento del 255 % del área sembrada de este cultivo.

Considerando el potencial productivo y la calidad alimenticia de la avena, el Programa de Investigación en Pastos y Forrajes viene impulsando el cultivo de esta especie poniendo a disposición de los productores semillas de calidad de la avena forrajera. Esta nueva variedad INIA 904 - Vilcanota I, es un recurso forrajero que puede permitirle al productor pecuario ingresar a la cadena productiva de la carne y leche de forma más competitiva; es decir, logrando una explotación más rentable y sostenible.

#### ORIGEN

**Método de mejoramiento**

- Selección Masal Estratificada a partir del germoplasma derivado del cultivar Mantaro 15.

#### ADAPTACIÓN

Recomendable para la sierra, se desarrolla muy bien en altitudes de 2 700 a 3 900 msnm.

#### DESCRIPCIÓN DEL CULTIVAR

##### Características morfológicas

Nº macollos por planta	: 11 - 15
Altura de planta	: 165 cm
Color del grano	: Amarillo pajizo
Días hasta el panojado	: 115
Días hasta la madurez del grano	: 208
Relación hoja / tallo	: 1.28
Índice de cosecha de forraje	: 85 %
Acame	: 4 - 8 %
Peso de 1 000 granos	: 32 - 34 g
Rendimiento materia verde	: 61,25 t/ha
Rendimiento materia seca	: 12,25 t/ha
Rendimiento potencial de semilla	: 2,96 t/ha
Rendimiento de heno	: 12,82 t/ha
Rendimiento de silaje	: 52,96 t/ha

##### Reacción a enfermedades

Roya de la hoja (*Puccinia coronata*): Moderada resistencia

Roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *avenae*) : Moderada resistencia

Carbón volador (*Ustilago avenae*) : Resistente





Semillero básico de la variedad INIA 904 - Vilcanota I

### MANEJO DEL CULTIVO

#### Época de siembra

De acuerdo a la zona:

- Para forraje: de noviembre a diciembre
- Para grano: de octubre a noviembre.

#### Densidad de siembra

Para producción de forraje: en siembra manual 120 kg/ha y con sembradora 100 kg de semilla de buena calidad.

Para producción de grano: como semilla, de 60 a 80 kg de semilla/ha dependiendo del sistema de siembra.

#### Fertilización

Previo análisis de suelo se recomienda aplicar para forraje y grano niveles de 80-60 de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Para forraje, aplicar a la siembra el 25 % de la fuente nitrogenada y el total del fósforo y lo restante del nitrógeno en el macollamiento.

Para grano, aplicar a la siembra la mitad del nitrógeno y todo el fósforo; la otra parte de nitrógeno al inicio del macollaje.

#### Control de malezas

Entre los 30 y 40 días después de la siembra, aplicar un herbicida para malezas de hoja ancha en la dosis comercial recomendada, complementando con deshierbo manual para malezas de hoja angosta.

### Cosecha y conservación del forraje

El forraje verde sirve de alimento al ganado en forma directa o procesada (heno o silaje).

Para ensilar se recomienda cosechar desde la plena floración hasta la formación del grano lechoso y para henificar cosechar al estado de grano lechoso.

#### Composición química del forraje de la variedad INIA - 904 Vilcanota I en distintos estados de desarrollo.

Estado de desarrollo	Materia seca %	Proteína %	Fibra %	Grasa %	Ceniza %	Extracto no nitrogenado %
Otavo estado de lecho	19,32	12,22	30,50	2,40	9,17	38,00
Ensilaje	28,00	10,38	36,85	3,80	8,05	36,41
1ª. Semana	10,82	20,00	23,50	3,05	12,05	31,98
3ª. Semana	11,40	17,64	27,90	2,90	12,11	31,08
4ª. Semana	13,33	14,29	30,97	3,00	9,17	34,02
5ª. Semana	15,45	12,78	32,76	3,00	8,90	35,00
6ª. Semana	16,70	12,90	32,80	2,31	8,00	37,00
7ª. Semana	18,18	11,00	32,95	2,10	8,53	38,04
8ª. Semana	20,00	10,80	34,00	2,07	8,40	41,06

\* Semanas transcurridas desde la iniciación de la floración.  
Fuente: LABQUIM 2003.

#### Cosecha de grano

Debe ser oportuna, para evitar caída de granos y tumbado de plantas por sobre madurez.



Producción de forraje verde de la variedad INIA 904 - Vilcanota I para su conservación en silaje

### Rendimiento

Con tecnología del cultivo, semilla de calidad, época de siembra oportuna, empleo de fertilizantes y control de malezas, la avena INIA 904 - Vilcanota I produce 2,96 t/ha de semilla, siendo el promedio comercial 2,16 t/ha.

En la región Cusco, los rendimientos son muy variables debido a que se cultivan en terrenos que poseen una fertilidad muy variable.

#### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Rendimiento de semilla	: 2,96 t/ha
Costo de producción	: S/. 1.964,00
Ingreso total	: S/. 3.945,00
Ingreso neto	: S/. 1.981,00
Rentabilidad	: 100,80 %

El semillero gana 101 céntimos por cada nuevo sol invertido.

#### RECONOCIMIENTO

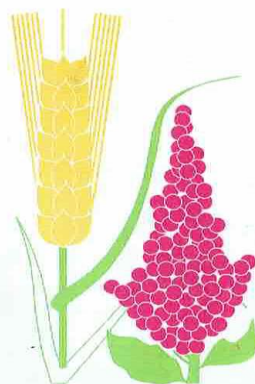
La variedad AVENA FORRAJERA INIA 904 - VILCANOTA I es el resultado de los trabajos de Investigación realizados por el equipo de científicos y técnicos del Programa Nacional de Investigación en Pastos y Forrajes de la Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco del Instituto Nacional de Investigación Agraria.

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
SUB DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE CRANZAS  
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y FORRAJES  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ANDENES - CUSCO  
Av. Micaela Bastidas 310 - 314  
Teléfono: (084) 232871 Teléfono (084) 249890  
Email: andenes@inia.gob.pe



Av. La Molina N° 1961, Lima 12 - Casilla N° 2791 - Lima 1  
Teléfono: 349-9631 / 349-2600 Anexo 248  
http://www.inia.gob.pe E-mail: public@inia.gob.pe

**f. Avena CENTENARIO**



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL EN  
**CEREALES Y GRANOS NATIVOS**

*Para mayor información:*

*Universidad Nacional Agraria La Molina  
Programa de Cereales  
Av. La Molina S/N  
La Molina, Lima-Perú  
Teléf: (51-1) 349 - 5799  
Fax: (51-1) 349 - 5800  
E. Mail: [pcereal@lamolina.edu.pe](mailto:pcereal@lamolina.edu.pe)*



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AGRARIA LA MOLINA**  
PROGRAMA DE CEREALES Y  
GRANOS NATIVOS

**CULTIVAR DE AVENA  
"CENTENARIO"**



**2007**

**La Molina - Lima  
PERÚ**



**Especie:** *Avena sativa*

**Cultivar:** "CENTENARIO"

**Institución**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Programa de Cereales y Granos Nativos.

**Método de obtención**

Selección de la accesión BGALM 23 1930 del Banco de Germoplasma de Avena de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

**Lugar y Fecha de Obtención**

Pruebas preliminares de rendimiento forrajero/grano .

Callejon de Huaylas 2000-2002

Pruebas en campos de agricultores.

2003 Cajamarca

2004 Junin

2005 Puno

**Descripción botánica**

Es una variedad vigorosa que se caracteriza por poseer un follaje verde claro, tallo de grosor intermedio con pubescencia en los nudos. La altura promedio de las plantas es de 195 cm, en condiciones de Sierra.

La panícula es equilátera con una longitud promedio de 50 cm y las espiguillas son decumbentes.

El fruto es con cascara y de color cremoso

**Características agronómicas**

Florea a los 104 días aproximadamente y alcanza la madurez a los 200 días.

Se adapta a las condiciones de costa, sierra media, sierra alta y al altiplano.

**Comportamiento en relación a enfermedades**

La variedad es resistente a roya del tallo (*Puccinia graminis f. sp. avenae*) y roya de la hoja (*Puccinia coronata f. sp. avenae*)

**Rendimiento forrajero.**

En condiciones de costa tiene un potencial de rendimiento forrajero de 77 TM/Ha en estado de bota y 70 TM/Ha en estado de panícula totalmente desplegada

En sierra su potencial de rendimiento forrajero en estado de panícula totalmente desplegada es de 61 TM.

En campo de agricultores el rendimiento forrajero es de 40 TM.

**Rendimiento de grano.**

En campos semilleros con tecnología intermedia se han cosechado hasta 3500 Kg/Ha.

**Calidad forrajera.**

El análisis llevado a cabo en estado de panícula de la avena "Centenario" dio como resultado la siguiente información:

Componente	Planta (%)
Humedad	76.99 %
Materia Seca	23.01 %
Proteínas	11.16 %
<b>Digestibilidad</b>	
FDN	52.63
DIVMS	71.27
DIVMO	61.27



FDN (FIBRA DETERGENTE NEUTRO)

DIVMS (Digestibilidad in vitro de la materia seca)

DIVMO (Digestibilidad in vitro de materia orgánica)

**Institución responsable del mantenimiento de la semilla genética**

Universidad Nacional Agraria La Molina,  
Programa de Cereales y Granos Nativos.

**Guía de cultivo**

**Época de siembra**

De acuerdo al periodo de lluvias de cada zona.

Sierra alta Octubre - Noviembre

Sierra media Noviembre - Enero

**Densidad de siembra**

**Campo semillero**

120 kg/ha. de semillas

**Campo forrajero**

25% a 50% más kg/ha que las que se usan para semilleros. La alta densidad favorece la formación de un forraje de tallos finos, que facilita el proceso de ensilado.

**Abonamiento**

60-60-0 de NPK

Se recomienda fraccionar la dosis de nitrógeno a 20 unidades a la siembra y 40 unidades a mitad del macollamiento.

Aplicar todo el fósforo a la siembra, mezclando con el nitrógeno y cerca de las semillas